

**Programación de agentes de un Call Center con prestación del servicio
de asignación de citas**

DIEGO MAURICIO PENAGOS ARANGO

Código: 1200486

Director: Juan Pablo Orejuela



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON ÉNFASIS EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Santiago de Cali
2016

**Programación de agentes de un Call Center con prestación del servicio
de asignación de citas**

DIEGO MAURICIO PENAGOS ARANGO

Código: 1200486

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de Magíster en
Ingeniería Industrial**

Director: Juan Pablo Orejuela



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON ÉNFASIS EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Santiago de Cali
2016

TABLA DE CONTENIDO

1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Planteamiento del problema.....	2
1.3.	OBJETIVOS	5
1.3.1.	Objetivo general.....	5
1.3.2.	Objetivos específicos	5
1.4.	JUSTIFICACIÓN	6
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Métodos de pronósticos en empresas de servicios y Call Centers	7
2.2	Planeación de la capacidad y programación de recurso en Call Centers	13
2.3	Algunas técnicas heurísticas de optimización	18
3	CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	22
4	PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	26
4.1	Fase 1 - Propuesta metodológica para pronosticar la demanda	28
4.2	Fase 2 - Propuesta metodológica para pronosticar la demanda	29
4.3	Fase 3, 4 y 5 – Aplicación y validación de la metodología de pronósticos	31
4.4	Fase 3- Formulación del modelo de programación de agentes.....	34
4.4.1	Formulación verbal	35
4.4.2	Formulación matemática.....	36
4.4.3	Descripción del modelo.....	38
4.5	Fase 4 - Aplicación de la propuesta de programación en el caso de estudio.....	42
4.5.1	Datos de entrada	42
4.6	Corrida del modelo y análisis de resultados	45
4.6.1	Fase 5 - Análisis de la implementación del modelo	46
4.6.2	Fase 5 - Análisis de la programación de agentes	49
5	EVALUACIÓN DE ESCENARIOS.....	55
5.1	Escenario 1- Disponibilidad de agentes	56
5.2	Escenario 2 - Disponibilidad de horas.....	58
5.3	Escenario 3 - Programación mínima.....	59
5.4	Escenario 4 - Eliminación de descansos.....	62
5.5	Escenario 5 - Limitación jornada de almuerzo.....	63
5.6	Escenario 6 - Incremento de utilización.....	66
6	CONCLUSIONES	69
7	RECOMENDACIONES	74
8	BIBLIOGRAFÍA	75
9	ANEXOS.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Los sistemas de pronósticos y el patrón de demanda observado	13
Tabla 2 Parámetros para conversión de llamadas	25
Tabla 3 Indicadores de precisión aplicando promedio móvil	31
Tabla 4 Parámetros de arranque para aplicar el método Winters	32
Tabla 5 Indicadores de precisión del pronóstico aplicando Winters	32
Tabla 6 Indicadores de precisión de las metodologías aplicadas.....	33
Tabla 7 Requerimientos de personal para la semana de aplicación	42
Tabla 8 Resultados de la aplicación del modelo	47
Tabla 9 Resultados del modelo propuesto vs estado actual	48
Tabla 10 Costo por hora por tipo de agente	48
Tabla 12 Cambios de la disponibilidad de agentes	56
Tabla 13 Resultados de escenario 1	57
Tabla 14 Resultados escenario 2	59
Tabla 15 Resultados escenario 3	60
Tabla 16 Resultados escenario 4	63
Tabla 17 Detalle de descansos asignados sin restricción 11	63
Tabla 18 Demanda de agentes por día y período	64
Tabla 19 Resultados costos escenario 5.....	65
Tabla 20 Resultados escenario 6	68

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 1 Esquema metodológico de solución	26
Gráfico 2 Flujo para selección de pronóstico-Fase 1 y 2.....	27
Gráfico 3 Flujo para programación de agentes-Fase 3 y 4	28
Gráfico 4 Volumen de llamadas recibidas año 2013	30
Gráfico 6 Comparación métodos de pronósticos.....	33
Gráfico 7 Programación de agentes día Lunes	49
Gráfico 8 Programación de agentes día Martes	49
Gráfico 9 Programación de agentes día Miércoles.....	50
Gráfico 10 Programación de agentes día Jueves.....	50
Gráfico 11 Programación de agentes día Viernes.....	51
Gráfico 12 Estado actual - Porcentaje de utilización de agentes.....	53
Gráfico 13 Propuesta - Porcentaje de utilización de agentes.....	53
Gráfico 14 Desempeño del costo vs disponibilidad de agentes	57
Gráfico 15 Resultado utilización de agentes - Escenario 3	61
Gráfico 16 Utilización de agentes modelo inicial vs escenario 3	61
Gráfico 17 Resultados programación escenario 5.....	65
Gráfico 18 Porcentaje utilización de agentes escenario 6.....	67

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Introducción

Los Centros de llamadas telefónicas, conocidos también como Call Center se han convertido en un medio importante para que muchas organizaciones puedan comunicarse de manera efectiva con sus clientes y hoy en día son uno de los sectores económicos que promete desarrollo y son un componente en el crecimiento de la economía mundial, empleando a millones de personas que se desempeñan como agentes¹ en este tipo de organizaciones.

En Colombia el crecimiento económico de este sector no se ha hecho esperar. De acuerdo con lo informado por la Asociación Colombiana de Contact Centers, entre el 2008 y 2009 hubo un crecimiento del sector del 18% e indican que la industria de los Contact Centers y la subcontratación de procesos de negocio o Business Process Outsourcing -BPO- emplean alrededor de 60.000 Colombianos y factura 550 millones de dólares al año [1].

El principal pilar de este sector económico corresponde al recurso humano, cuya participación en el costo de la mano de obra directa (agentes) puede representar un 60-80% del presupuesto operativo de una llamada [2].

Por tal motivo la necesidad de reducir los costos de la mano de obra, permite a los centros de llamadas incrementar sus ahorros para inversión en tecnología o la ampliación de la capacidad de sus servicios mediante la contratación de más recursos. El software de optimización de recursos es excesivamente costoso y con poco ajuste al comportamiento particular de cada Call Center, lo que despierta gran motivación por el autor, por realizar esta investigación de optimización con impacto en la reducción de costos en este creciente sector económico.

¹ Personal que procesa transacciones de usuarios finales en un centro de contacto con el cliente, por ejemplo: Llamadas, e-mails, consultas por internet, faxes, correo, etc.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito estudiar una metodología para la predicción de llamadas que ingresan al servicio de asignación de citas de una Empresa Promotora de Salud (EPS) prestado por un Call Center, determinar y programar la cantidad mínima de agentes necesarios de tal forma que se cumplan con los requerimientos de la demanda y se garanticen los Acuerdos de Nivel de Servicio (ANS²) definidos con el cliente.

1.2. Planteamiento del problema

Desde el punto de vista de gestión, los dos principales problemas de los Call Centers corresponden a falencias en la programación de personal y el enrutamiento de llamadas [3]. El problema de programación de personal, hace referencia a cómo programar agentes en diferentes turnos de trabajo. En cuanto al enrutamiento de llamadas, este problema es abordado mediante soluciones tecnológicas y no será tratado en esta investigación.

El problema de la programación de agentes de un Call Center se puede solucionar típicamente en tres fases: Pronosticar la carga de trabajo, traducir la carga de trabajo en metas para el agente y programar agentes teniendo en cuenta los diferentes turnos [4].

Predecir la demanda que ingresa a un sistema no es una tarea fácil, sin embargo es necesario contar con un buen sistema de predicción para realizar planeaciones a corto y largo plazo. La tasa de arribo de la demanda es la fuente principal de incertidumbre en los sistemas de servicios tales como la atención de la salud, servicios de emergencias, tiendas minoristas, sistemas de transporte, hoteles, restaurantes e incluso en los centros de llamadas. Debido a esta incertidumbre se dificulta planear la fuerza de trabajo requerida para cumplir con la demanda que ingresa al sistema.

² Acuerdo de Nivel de Servicio, es un documento habitualmente anexo al Contrato de Prestación de Servicios. En el ANS se estipulan las condiciones y parámetros que comprometen al prestador del servicio (habitualmente el proveedor) a cumplir con unos niveles de calidad de servicio frente al contratante de los mismos (habitualmente el cliente).

Especialmente en los Call Center, la principal dificultad para predecir llamadas corresponde a las variaciones de la tasa de arribo de las llamadas en el tiempo. Estas variaciones en el ingreso de llamadas se presentan durante el día, entre los diferentes días de la semana e inclusive entre los meses del año. El comportamiento típico de las llamadas que ingresan a un Call Center tiene periodos máximos antes del almuerzo y otro justo después del mismo, con niveles bajos durante el almuerzo, al inicio de la mañana y al finalizar la tarde [5].

Para este estudio se ha seleccionado un Call Center que presenta un comportamiento ajustado a lo descrito anteriormente en cuanto al ingreso de llamadas. El Call Center atiende las llamadas provenientes de usuarios de una EPS para solicitar citas médicas en las diferentes especialidades ofertadas por la entidad.

Revisando la información disponible de las mallas de turnos construidas de lunes a viernes para los meses de Enero, Abril, Julio y Septiembre del año 2013, se encuentra que las programaciones presentan exceso de capacidad principalmente a las 11:00 a.m. y 2:00 p.m. con alrededor de 25% por encima del recurso necesario en ambos casos, ocasionando un incremento en los costos de personal y en los tiempo ociosos de los agentes. También se observa que los días lunes en el horario de 8:00 a.m. a 10:00 a.m., se presenta un exceso de capacidad de un 20% en promedio de la cantidad necesaria del recurso.

El sobredimensionamiento en la capacidad de agentes implica para la empresa no sólo mayores costos de personal y por ende una disminución en el margen de utilidad sino también el costo de oportunidad de poder disponer de la capacidad sobrante en otro servicio ofertado por el Call Center como puede ser la línea de servicio al cliente, que por sus características similares a la línea de asignación de citas se cree puede tener el mismo problema de dimensionamiento. El sobredimensionamiento para el sistema en estudio

principalmente se evidencia en la jornada de la tarde, donde la capacidad puede estar sobredimensionada entre un 20% a 30%.

Otros procesos como el de reclutamiento, selección, contratación y entrenamiento de personal, son costosos por el recurso asociado en la ejecución de estas actividades y el tiempo asociado. De tal forma que contar con un sobredimensionamiento no sólo refiere al costo de la mano de obra adicional sino todos los procesos implicados para tener el recurso disponible.

Cuando se sub-dimensiona la capacidad, el problema está asociado al incumplimiento de los niveles de servicio pactados. El SLA acordado con el cliente está asociado a disponer de una cantidad de agentes, que si bien no están completos, implicará que los usuarios abandonen las llamadas o se contesten tarde. Estos aspectos afectarán la relación comercial con el cliente; en este caso la EPS como contratante. Implicando que retiren sus servicios con el Call Center e inicien procesos licitatorios con proveedores similares que logren satisfacer los niveles de servicios requeridos. En los acuerdos existentes no se han contemplado multas por incumplimientos.

Lo anterior plantea la necesidad de revisar la metodología actual de predicción de llamadas, determinación de cantidad de agentes y su respectiva programación utilizada por el Call Center, con el fin de mejorar las programaciones sub-dimensionadas y sobredimensionadas en los diferentes periodos.

Para la prestación del servicio se cuenta con la infraestructura tecnológica adecuada, por lo tanto dentro del estudio no se consideraran variables como caídas de la plataforma tecnológica (o sistema) que pudiesen afectar la duración y el volumen de llamadas que ingresan al sistema. Como tampoco problemas de citas asignadas de manera errada por los agentes que podrían replicar llamadas de un mismo usuario por el mismo motivo. Se considera un único tipo de llamada y se asume que cualquier agente dispone de las capacidades ideales para atenderla.

Frente a la situación detallada, el caso de investigación plantea la siguiente pregunta a solucionar:

- ¿Qué metodología permite programar la menor cantidad de agentes a partir de una proyección del volumen de llamadas que ingresan a un Call Center encargado de la prestación del servicio de asignación de citas de una EPS con presencia en Colombia?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Desarrollar una metodología que permita programar los agentes necesarios para cubrir los requerimientos de la demanda de llamadas que ingresan a un Call Center encargado de la prestación del servicio de asignación de citas de una EPS con presencia en Colombia.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar las variables involucradas en el sistema objeto de estudio, mediante el análisis de la situación planteada.
2. Estimar el comportamiento de la demanda de las llamadas con el fin de definir los requerimientos de personal.
3. Desarrollar un modelo matemático que permita la programación del personal de acuerdo con los requerimientos de demanda.
4. Validar el modelo mediante su aplicación con un caso de estudio.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Los centros de llamadas deben priorizar la satisfacción de los clientes frente a la reducción de gastos. Las empresas de este tipo que solo se concentren en contactar e informar a los usuarios, con el tiempo ofrecerán una imagen deteriorada del servicio, hoy en día las empresas adicional a informar deben satisfacer, matricular y prescribir [6].

En la actualidad Colombia es una plataforma de exportación de servicios de voz y datos en español, inglés y portugués a América latina, Estados Unidos y Europa. La demanda de servicios tercerizados ha incrementado y los sectores como el financiero, el manufacturero, de Oil & Gas y de telecomunicaciones se encuentran entre los que mayor dinámica presentan en la demanda de servicios como centros de contacto y servicios de soporte técnico y tecnológico [7].

Existe un gran interés por realizar investigaciones en pro del desarrollo competitivo de este sector económico. Para el caso de estudio los costos de personal representan alrededor de un 50% y se sospecha que la metodología de programación de los agentes actual, incrementa los costos de personal en alrededor de un 15%. Estas características motivan a plantear una metodología que mejore la programación de turnos que refleje ahorros que puedan utilizarse para invertir en el bienestar de los agentes y que permitan su crecimiento y formación profesional.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para la selección de una metodología adecuada que permita cumplir con los objetivos específicos 2 y 3, se realizará una revisión bibliográfica de las diferentes técnicas utilizadas para pronosticar demanda y programar recursos.

2.1 Métodos de pronósticos en empresas de servicios y Call Centers

Para lograr realizar una planeación de los recursos es necesario contar con un método de pronósticos con el mejor ajuste posible al comportamiento real de la demanda.

Los métodos de pronóstico están clasificados como cualitativos y cuantitativos. Los cualitativos son utilizados cuando no se cuenta con información histórica, para lo cual se utilizan técnicas como la opinión de un experto, método Delphi, entre otras. Técnicas que no serán consideradas dentro de la investigación.

Los métodos cuantitativos son aquellos utilizados cuando se cuenta con información histórica. Por ejemplo las series de tiempo es una clasificación dentro de los métodos cuantitativos y tiene como objetivo recopilar los datos históricos en periodos definidos a través del tiempo [8].

Para comprender una serie de tiempo es necesario realizar un análisis de sus componentes y su relación de tendencia, ciclos, estacionalidad y componentes irregulares [9].

Los procesos estocásticos son métodos cuantitativos que consideran la aleatoriedad de los datos, lo que podría lograr ajustar mejor las predicciones al comportamiento real de los datos.

La teoría de colas es una metodología estocástica utilizada para el estudio del arribo de la demanda de llamadas. Analizar un sistema mediante el uso de esta teoría sugiere seguir un conjunto de criterios dados por [10], así:

1. Definir y relacionar las variables que describen el problema.
2. Obtener las distribuciones asociadas al problema.
3. Usar las distribuciones obtenidas para desarrollar operaciones características que describen el comportamiento del sistema como un todo.
4. Mejorar el funcionamiento del sistema a través del uso de un modelo de decisión apropiado y basado en sus operaciones características.

Los modelos de colas de Poisson (también modelos estocásticos), son utilizados para predecir llegadas de clientes a un determinado sistema; clientes que llegan a un banco, llamadas que ingresan a un call center, etc. Estos modelos parten del supuesto que las llegadas se comportan bajo una distribución de Poisson y el tiempo entre llegadas bajo una distribución exponencial [11].

El trabajo planteado por [12] utiliza un sistema de colas tradicional donde las llegadas y la atención del servicio toman una distribución, los servidores se consideran idénticos y en paralelo, la capacidad del sistema es finita, equivalente al número de servidores más la cola máxima. Dando una guía metodológica para la predicción de las llamadas y su respectiva validación, así: Identificar la distribución de ajuste, identificar los parámetros, comparar los resultados del modelo propuesto con el actual, validar los resultados gráficamente y variar el nivel de servicio modificando la capacidad de la cola.

Con la revisión de las propuestas anteriores, se evidencia que la utilización de métodos estocásticos, son una buena alternativa para plantear modelos de predicción.

La simulación es otra arista al interior de los métodos estocásticos que permite estudiar el comportamiento del sistema en función del tiempo y se justifica su utilización cuando es imposible o muy costoso observar sistemas reales y cuando el sistema es tan complejo que se imposibilita describirlo en términos de un modelo matemático o en caso contrario cuando el modelo matemático que representa el sistema real es tan complejo, que es imposible obtener una solución analítica.

Dentro de los métodos para simulación, está la simulación con *Montecarlo* que se basa en la generación de valores aleatorios para la generación de variables aleatorias. Generalmente esos valores son obtenidos de muestras de distribuciones uniformes.

En el espectro de la simulación encontramos la Dinámica de Sistemas (DS), una metodología para analizar problemas complejos que involucran muchas variables, relaciones y retrasos, desde una perspectiva de causa y efecto.

La simulación con DS permite analizar el comportamiento de diferentes sistemas, mediante la identificación de variables y las relaciones de influencia entre ellas mediante bucles de realimentación.

[13] Da algunas razones importantes para el uso de la DS en la realización de pronósticos en demanda corresponden a que:

- Los pronósticos realizados con DS son propensos a ser mejores y más informativos que otros enfoques.
- La DS provee pronósticos con horizontes de corto y mediano plazo más fiables que los modelos estadísticos, dando lugar a mejores decisiones.
- Los modelos de DS proporcionan un medio para desarrollar escenarios y análisis de sensibilidad.

El modelo presentado por [14] es una clara aplicación de la DS para pronosticar la demanda de pasajeros de avión y la necesidad de expansión de la capacidad del terminal de pasajeros. Este trabajo relaciona múltiples variables como la población, el producto interno bruto del país, impacto en el nivel de servicio, costo del pasaje, la utilización del pasillo y el espacio requerido. Se estructura la interacción de las variables anteriores mediante la construcción de diagramas causales.

La DS también ha sido utilizada para pronósticos de demanda del mercado de energía eléctrica con el objetivo de comprender el comportamiento del mercado. [15] Diseñan un modelo que tiene como propósito evaluar el impacto económico del mercado de la electricidad en la inversión de una nueva planta de energía, estimando flujo de caja y otros indicadores financieros. Relacionan la afectación de la demanda por variables externas como la población, el

producto interno bruto y algunas otras como la capacidad de la planta para generar energía, disponibilidad de las fuentes hídricas y la capacidad instalada.

Los trabajos [14] y [15], son una aplicación interesante de la DS en la realización de pronósticos de demanda en servicios y para el sistema de aplicación de la metodología presenta grandes similitudes al sistema de la investigación objeto estudio. Donde se cuenta con restricciones de capacidad del recurso humano, se relaciona el nivel de servicio con la cantidad de agentes y aprovechamiento de la disponibilidad de los mismos.

Esta metodología también ha sido considerada una herramienta ideal de simulación para pronosticar a largo plazo la demanda de agua en la zona urbana. La investigación de [16] tiene como objetivo pronosticar la demanda de agua en la zona urbana de China y utiliza una regresión lineal simple para la construcción del modelo. Lo más importante del modelo es cómo caracterizan el sistema para comprender todas las variables que afectan el consumo de agua de acuerdo con el sector económico y definen los parámetros para el planteamiento del modelo. Finalizan con la validación del modelo comparando datos históricos con el pronóstico y realizando análisis de sensibilidad del mismo.

La propuesta [16], arroja una metodología aplicable al caso de estudio. Sí se utiliza la dinámica de sistemas como herramienta de estimación de demanda, se podría establecer relaciones directas e indirectas entre variables como el crecimiento de la población, tasas de afiliación a la entidad de salud, tasas de deserción de la misma, promedio de citas solicitadas por persona e inclusive por estrato socioeconómico, etc.

Otras metodologías utilizadas para la predicción de llamadas son los modelos ARIMA³ o metodología Box-Jenkins. Estos modelos estocásticos básicamente corresponden a una combinación lineal de valores históricos de una variable independiente y su ajuste es evaluado siempre y cuando los residuales sean valores pequeños.

³Autoregressive integrated moving average o Promedio Móvil Autoregresivo Integrado

[17] Presentan un modelo de Gauss multiplicativo para la medición y predicción de las tasas de llegada de un proceso de Poisson no homogéneo para predecir llamadas a partir de los datos históricos de un banco comercial de América del Norte. La estructura de este modelo proporciona estimaciones puntuales de las tasas de llegadas actuales y futuras, logrando actualizar la predicción de las llamadas de la tarde basado en el patrón observado de la mañana. La estimación de los parámetros del modelo se realizó mediante cadenas de Markov Monte Carlo.

Otro modelo de tipo estadístico para la predicción del volumen de llamadas corresponde al propuesto por [18] que predice para cada intervalo de un día el volumen de llamadas y tiene como característica especial que se actualiza con los datos del día. El modelo es estimado mediante una regresión de Poisson y el proceso de actualización dinámica al interior del día está basado en una técnica de penalización de probabilidad máxima.

[19] Desarrollan y prueban de manera integrada pronósticos y programación estocástica para la gestión de personal en un Call Center. Su trabajo está basado en los datos recolectados y usan dos grandes conjuntos de datos de centros de llamadas para evaluar los elementos del enfoque. Realizan pruebas del esquema de previsión y programación y muestran el uso de múltiples escenarios para lograr el cumplimiento de los niveles de servicio.

La investigación de [20] evalúa la precisión de los pronósticos utilizando diferentes periodos de tiempo a predecir, que van desde semanas a horas de duración para imitar los desafíos reales que enfrentan los programadores de los centros de llamadas. El modelo presentado arroja una idea de plantear dos modelos, uno para horizontes de tiempo largos (semanas) y otro para cada día, siendo más preciso.

De acuerdo con la revisión bibliográfica presentada, existen múltiples técnicas para pronosticar la demanda de servicios, pasando por técnicas sencillas como las series de tiempo hasta técnicas robustas como la dinámica de sistemas, que permiten una mayor cobertura de variables externas al sistema.

Las técnicas revisadas parten de la identificación del sistema y todas las variables asociadas. Detallando la interrelación y dependencia entre las mismas.

Sin embargo hay un componente importante que se debe tener en cuenta al pronosticar y corresponde al conocimiento que otorga un experto o personal asociado al sistema, que cuenta con suficiente detalle para describir el comportamiento de la demanda. Como por ejemplo la identificación de los picos que se presenten en el día, mes y año, estacionalidades y demás características que ayudan tanto a construir el modelo como a validarlo.

La selección del método de pronósticos está fuertemente ligada a la información resultante de la caracterización del sistema, de la cual se identificarán los datos disponibles a tratar y la técnica seleccionada debe ser lo más ajustada posible a la realidad, la variación entre la información simulada y real debe ser lo menor posible. Aspectos que se validan con indicadores de precisión como factor de éxito para su selección.

Es importante resaltar otros factores de éxito del modelo de pronósticos como la utilidad de los resultados, costo, estabilidad y respuesta al sistema de pronósticos.

Para pronosticar llamadas de acuerdo con lo revisado, lo más utilizado son las series de tiempo y la teoría de colas, técnicas con las que se obtienen buenos resultados de precisión.

En cuanto a las series de tiempo, la selección de la técnica de pronósticos depende del patrón de demanda que se haya observado como se indica, en la tabla 1.

Patrón de demanda observado	Sistema de pronóstico recomendado
Perpetua, estable o uniforme	Promedio móvil o suavización exponencial simple
Con tendencia creciente o decreciente	Regresión lineal simple o suavización exponencial doble
Estacional o periódica	Modelos periódicos de Winters
Demandas altamente correlacionadas	Métodos integrados de promedios móviles auto-regresivos (ARIMA)
Errática	Pronóstico combinado de tiempo entre la ocurrencia de demandas consecutivas y la magnitud de las transacciones individuales (método de Croston y relacionados)

Tabla 1 Los sistemas de pronósticos y el patrón de demanda observado
Autor: [21]

Con la identificación de los criterios para seleccionar el método de pronósticos, el paso siguiente será la caracterización del sistema, para identificar claramente su comportamiento y seleccionar alguna de las técnicas presentadas.

2.2 Planeación de la capacidad y programación de recurso en Call Centers

La capacidad es considerada como la cantidad de producto o servicio que puede ser obtenido en una determinada unidad productiva durante un cierto periodo de tiempo. La planeación estratégica de la capacidad es determinante para dar respuesta de manera oportuna a la demanda. Una planeación equivocada puede ocasionar una disminución del servicio, pérdida de clientes, disminución del nivel de calidad, etc. [22]. El objetivo de la planeación estratégica es determinar el nivel de capacidad general de los recursos con un alto grado de utilización [23].

La capacidad en el contexto de los Call Centers está determinada por la cantidad de clientes que se pueden atender por unidad de tiempo y depende de la predicción realizada de la demanda del servicio.

Por tal manera, la capacidad determina el nivel de servicio, convirtiéndose en una decisión estratégica de inversión con impacto en la competitividad del negocio [24].

Incrementar o disminuir la tasa (nivel) de servicio tendrá un impacto directamente proporcional en el nivel de servicio, según corresponda. El nivel de servicio es un parámetro al interior del sistema debido a que es pactado de acuerdo con las necesidades del cliente.

En empresas de servicio la variabilidad de la demanda exige a este tipo de organizaciones flexibilidad en la capacidad para responder de manera adecuada ante estas variaciones. Para lo anterior es necesario tener plantas flexibles, que en este contexto hace referencia a la oportunidad de respuesta del servicio. Por ejemplo adecuar con facilidad puestos de trabajo adicionales en espacios libres. Contar con procesos sencillos para que en el momento de hacer algún cambio sea a bajo costo; una modificación en el protocolo de atención estipulado en el Call Center, debe requerir procesos de capacitación sencillos y efectivos, como también se requiere contar con trabajadores que cambien con facilidad de una tarea a otra.

Uno de los modelos más utilizados en el dimensionamiento de Call Centers es el modelo Erlang tipo C o conocido también como M/M/N. Básicamente lo que hace la formulación es determinar la probabilidad de que al llegar un cliente al sistema tenga que esperar un determinado periodo. Este modelo asume un estado estacionario donde las llegadas se ajustan a un proceso de Poisson, la duración del servicio se ajusta a una distribución exponencial, los clientes y los servidores son estadísticamente iguales y actúan de forma independiente el uno del otro. Por lo tanto una de las dificultades de este modelo es que no se tiene en cuenta el tiempo máximo de tolerancia en cola de los clientes y tampoco el abandono de las llamadas, que son parámetros dependientes del tiempo [25].

Otros modelos derivados del modelo anterior corresponden al modelo Erlang tipo A, el cual difiere del anterior debido a que considera la tasa de abandono de las llamadas. Considera las pérdidas que se producen en la cola, cada cliente que ingresa a la cola y no es atendido, se va [26].

La aplicación de los modelos anteriores son los más utilizados en las empresas dedicadas a estas labores y la selección de su aplicación varía de acuerdo con la disponibilidad de los datos capturados por las diversas plataformas tecnológicas donde se soporta la operación de los centros de llamadas.

Transformar la demanda que ingresa al sistema en requerimientos de personal, parece una labor sencilla con la existencia de software especializado para estos cálculos. Sin embargo, los programadores no pueden controlar de qué forma se están determinando los requerimientos de personal al interior de estas aplicaciones tecnológicas o qué aspectos está ignorando. A esto es importante agregarle los costos de adquisición del software, que generalmente corresponden a inversiones de gran valor.

Posterior a la transformación de demanda de llamadas en demanda de agentes se da paso al tercer objetivo específico del proyecto que consiste en desarrollar un modelo de Scheduling para determinar la menor cantidad de agentes, para atender los requerimientos de demanda y nivel de servicio.

Los primeros algoritmos de Scheduling propuestos históricamente fueron diseñados para solucionar el problema de programación de trabajos en una sola máquina en el sector industrial. Estos primeros modelos son catalogados como determinísticos o exactos, debido a que toda la información referente al problema es conocida con anticipación y es utilizada como insumo en el modelo. Otras metodologías corresponden a los heurísticos y meta heurísticos.

Para cada método de solución existen diferentes modelos. En el caso de los determinísticos está la programación lineal, Branch and Bound. Para el caso de los Heurísticos están algoritmos genéticos, algoritmos aleatorios, búsqueda tabú, Hill Climbing y para los Meta heurísticos: Optimización combinatoria, búsqueda tabú, temple simulado, grasp [27].

Las primeras propuestas de solución al Labor Scheduling Problem fueron dadas por Dantzig, quién formuló un modelo matemático determinístico con el objetivo de encontrar el mínimo costo para cubrir el conjunto de horarios disponibles, satisfaciendo las necesidades de personal y equilibrando las cargas de personal [26].

De acuerdo con su criterio de optimalidad se encuentran los algoritmos de Min-max también conocidos como el algoritmos de Lawler's, propuestos en 1973, que tienen como objetivo minimizar la tardanza máxima de entregas. La secuencia de programación de los trabajos es encontrada a partir de una serie de iteraciones del algoritmo [28], el cual sugiere una idea de solución para la investigación en curso, para las esperas entre llamadas.

Dentro de sus modelos planteados, [29] presenta uno llamado Priority Queues, Work Conservation and Poisson, el cual busca programar un conjunto de trabajos en un determinado periodo de tiempo teniendo en cuenta los tiempos de procesamiento con ajuste a una distribución de Poisson.

[22] Muestra una aplicación de un modelo de teoría de colas en el cual se asume que el comportamiento de la tasa de llegada se ajusta a una distribución de Poisson y la tasa servicio a una distribución exponencial negativa. Los canales trabajan a la misma velocidad o tasa de servicio y el criterio de atención es FIFO (el primer trabajo que ingresa a la cola es el primero en salir). Muy similar al comportamiento de un sistema de un Call Center.

Mientras tanto, [30] Estudian la programación de la fuerza de trabajo teniendo en cuenta los períodos de descanso y los relevos, para lo cual utilizan la representación del Labor Scheduling Problem planteada por Dantzig incorporando variables binarias, las cuales representan los períodos de descanso.

La programación de agentes de un Call Center es un problema operacional que se desprende de la predicción de las tasas de llegada y los volúmenes de llamadas.

Para los Call Centers, los costos de personal representan un componente importante dentro de la estructura financiera de este tipo de negocios. Son un importante foco de desarrollo de disciplinas de las ciencias de servicio, cuyo esfuerzo por modelar y analizar sistemas de servicios tienen como meta mejorar la calidad y eficiencia de las operaciones [31].

Lograr la eficiencia en las operaciones, en el contexto de esta investigación, está asociado a mejorar la programación de agentes.

La investigación [29] realiza una propuesta de solución para realizar una programación de agentes multiskill (agentes especialistas), lo cual quiere decir que cada llamada entrará a la cola de cada tipo de especialista que se requiera. El modelo considera agentes generales y especialistas, los generales pueden atender cualquier tipo de llamada, lo que hace que sea un buen ejemplo para el problema a solucionar en esta investigación, donde se requiere representar los tipos de agentes disponibles según su capacidad mediante alguna variable para que el modelo tome la decisión de cuál utilizar.

Por otra parte, [32], diseñan un algoritmo para minimizar los costos de agentes multiskill cumpliendo con un conjunto de restricciones, niveles de servicio por cada tipo de llamada y periodos. Proponen una solución que combina la simulación con la programación entera y programación lineal. Es un buen estudio que proporciona una metodología adecuada para aplicar.

Un estudio interesante sobre programación, presentado por [33], corresponde a una revisión de los métodos, modelos y aplicaciones en la programación de personal y de turnos. Caracterizan el proceso para programación en 3 partes: La primera parte es una simulación de la demanda a partir de datos históricos, luego seleccionan una técnica de solución para programaciones de personal como herramienta para satisfacer restricciones derivadas de legislaciones laborales, cumplimiento de objetivos, obtener el costo mínimo y la máxima satisfacción de los empleados. Y la tercera parte es seleccionar una herramienta que permita visualizar informes de rendimiento.

Un método para encontrar el costo mínimo de programar turnos con tiempos de servicio variables es planteado por [34]. Su trabajo es planteado de 2 partes; la primera consiste en determinar los requerimientos de personal y la segunda en encontrar el costo mínimo de programar de acuerdo con los requerimientos establecidos. El modelo utiliza una programación heurística entera. Se plantean restricciones que garantizan el nivel de servicio todo el tiempo.

Siendo el nivel de servicio uno de los indicadores principales en los Call Centers, en la investigación realizada por [35] se muestra un algoritmo utilizado para determinar los niveles de personal para Call Centers que no cumplen con los niveles de servicio establecidos con el cliente. Identifican por qué puede ocurrir y cuando se manifiestan las deficiencias. Para la planeación propuesta se tiene en cuenta una estacionalidad independiente periodo a periodo.

2.3 Algunas técnicas heurísticas de optimización

Algunas técnicas adicionales de optimización son presentadas como alternativas para la solución de problemas de programación de recursos.

[36], realiza una propuesta que involucra un Scheduling enfocado en una simulación de annealing algorithm⁴, particularmente el algoritmo de enjambre de partículas⁵. El planteamiento busca organizar el tiempo de trabajo del recurso para minimizar la brecha entre el pronóstico de la demanda y el volumen de trabajo actual en cada periodo, para obtener la mejor solución y rendimiento.

Una gran cantidad de los problemas de optimización combinatoria de acuerdo con su método de solución pertenecen a los llamados *NP-Hard*, los cuales son problemas que requieren un tiempo elevado para obtener una solución. Mientras tanto las heurísticas y meta heurísticas, dan buenas aproximaciones con menos tiempo en obtener una solución.

⁴ Simulated annealing (SA) (*recocido simulado*, o enfriamiento simulado) es un algoritmo de búsqueda meta heurística para problemas de optimización global.

⁵ Hace referencia a una serie de métodos y algoritmos de optimización heurísticos que evocan el comportamiento de los enjambres de abejas en la naturaleza.

Dentro de la clasificación *NP- Hard* se encuentran los algoritmos de solución al *Job Shop Scheduling Problem*, el cual está compuesto por un conjunto de trabajos, un conjunto de máquinas, un conjunto de operaciones y tiene como objetivo minimizar el makespan⁶. Estos modelos tienen en cuenta restricciones de precedencia y capacidad.

De los modelos de programación más utilizados, corresponde a los modelos de búsqueda local, generalmente utilizan métodos de solución discretos. Estos métodos a pesar de no garantizar una solución óptima realizan procedimientos iterativos que buscan cada vez una mejor solución dentro de la región factible. Es por esta razón que son considerados métodos inteligentes. [37].

Branch and Bound es una técnica de búsqueda local con utilización de métodos de solución determinísticos también conocido como método de ramificación y cota. La técnica parte de una solución inicial (una región factible, sin restricciones de integridad) e inicia varias iteraciones que son las llamadas ramificaciones para encontrar una mejor solución, es decir parte un problema en sub problemas. El método no garantiza un óptimo global, sólo un óptimo local [38].

Una aplicación del modelo anterior es desarrollada por [39], de asignación de enfermeras utilizando *Redes Neuronales* y *Branch and Bound*. Cuya propuesta tiene como objetivo asignar turnos dependiendo la gravedad o complejidad de los pacientes, los cuales corresponden a la demanda del modelo, teniendo en cuenta los costos fijos y variables de la asignación de turnos de las enfermeras.

Hill Climbing, es un algoritmo que pertenece a los métodos de búsqueda local. Como muchas de las técnicas de búsqueda, sólo garantiza soluciones viables, óptimas locales. Este algoritmo parte de una solución inicial y posteriormente evalúa todos los vecinos, moviéndose en la dirección en que aumentan los valores. El algoritmo termina cuando no se encuentra un vecino con un valor mayor [40].

Simulated annealing es un heurístico con método de solución determinístico. Siendo un método de búsqueda local encuentra soluciones factibles mediante

⁶ Cantidad de tiempo total requerido para completar una serie de trabajos.

iteraciones. Tiene como objetivo encontrar una solución factible que minimice la función de costos. El algoritmo parte de una solución inicial y posteriormente de manera aleatoria selecciona una nueva solución. Como criterio de aceptación o rechazo de la nueva solución encontrada, el algoritmo calcula una probabilidad con distribución uniforme a partir del valor inicial, el valor encontrado y la iteración (conocidos como *threshold accepting*) [37].

Tabu search o *búsqueda tabú* descrito por primera vez por Glover 1986, es un método que cuenta con memoria a corto plazo, es decir que tiene en cuenta las soluciones obtenidas anteriormente (mejor conocidas como *tabu list* o *lista tabú*), almacenándolas, con el fin de excluir estas soluciones de las soluciones futuras [41].

La *Búsqueda Tabú* parte de una solución inicial elegida al azar, luego el algoritmo selecciona una nueva solución cercana aunque esta no mejore la solución inicial. El algoritmo termina después de un número fijo de iteraciones, después de un número considerado de iteraciones en las cuales no se halle una mejor solución o cuando la función objetivo alcance un valor previamente establecido [42].

[43] Proponen una solución a un problema de asignación mediante el uso de un algoritmo de *Tabú Search*. En el estudio, presenta un modelo matemático genérico la programación de trabajadores que tienen múltiples habilidades a distintas tareas. Cada trabajador tiene las mismas capacidades y se requiere que la distribución de horas semanales sea equilibrada para cada trabajador. La función objetivo es minimizar la diferencia entre la sumatoria del promedio de horas totales trabajadas por todo el personal y las asignadas a cada trabajador en particular. El modelo dispone de restricciones interesantes construidas con variables binarias como son las de descanso, equilibrio de horas, carga de trabajo teniendo en cuenta

Los algoritmos genéticos (AG) refieren a técnicas más avanzadas y también son utilizadas para proponer soluciones del *Labor Scheduling Problem*.

[27] Indican que los algoritmos genéticos, son técnicas de búsqueda basadas en la selección natural y la genética. Estos modelos corresponden a analogías

de los procesos de evolución natural. Tiene como característica principal la utilización de un operador de recombinación o cruce como mecanismo de búsqueda y su utilidad radica por la suposición de que diferentes partes de la solución óptima pueden ser descubiertas independientemente y luego ser combinadas para formar mejores soluciones.

Finalmente, para resolver el problema de programación de agentes de la investigación. Se propone el uso de modelos de programación lineal entera, que con la revisión realizada de la literatura, se encontró que muchos autores han solucionado con esta técnica problemas de programación específicos del sector obteniendo buenos resultados y dando cumplimiento al objetivo de minimización de costos.

Estos modelos se componen de un conjunto de variables que deciden cómo asignar los recursos para cumplir con los objetivos que se pretenden alcanzar y detalla los requerimientos del sistema a través de un conjunto de restricciones. Lo que al final debe validarse para analizar su ajuste con la realidad.

Posterior a la selección de la técnica para desarrollar la propuesta metodológica de programación se realizará la caracterización del objeto de estudio para entender el sistema y los factores de afectación que serán la base de la construcción del modelo

3 CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

Con el marco general de posibles metodologías y técnicas utilizadas para realizar pronósticos en servicios y programar recursos de personal, se realiza la caracterización del sistema en estudio para comprender los detalles necesarios para proponer soluciones que permitan cumplir con los objetivos específicos 2 y 3 planteados inicialmente. Con la caracterización se da cumplimiento al primer objetivo específico propuesto en la investigación.

En esta etapa se identificarán aspectos importantes para el desarrollo de las propuestas posteriores como son: políticas de la organización, disposiciones legales y demás características del sistema que se usarán como parámetros, restricciones y variables a utilizar para el desarrollo de metodologías propuestas.

El sistema está enmarcado en un Call Center que atiende las llamadas entrantes de usuarios de una EPS, quienes llaman para solicitar una cita médica y según la disponibilidad de la agenda de cada médico especialista, se reserva la cita para el usuario.

El servicio se presta de lunes a viernes con una duración de 10 horas en jornada continua, iniciando a las 7:00 a.m. y finalizando a las 4:00 p.m. En este horario los usuarios podrán realizar sus solicitudes. Cualquier llamada entrante por fuera de esta franja será desestimada para pronosticar la demanda. La jornada de almuerzo puede ser programada entre iniciando a las 12:00 p.m. o 1:00 p.m. Con duración de 1 hora.

Los encargados de atender las llamadas se denominan agentes que son clasificados en 2 tipos de acuerdo con el tipo de contrato. El contrato tipo 1 estipula una ejecución máxima de 41 horas en la semana y un máximo de 10 horas por día programado, mientras el contrato tipo 2 serán 24 horas en la semana y un máximo de 6 horas por día.

Por políticas corporativas no es permitido recargos por trabajos suplementarios y de acuerdo con la reglamentación Colombiana “el número de horas de trabajo diario podrá repartirse de manera variable durante la respectiva semana y podrá ser de mínimo cuatro (4) horas continuas y hasta diez (10) horas diarias sin lugar a ningún recargo por trabajo suplementario, cuando el número de horas de trabajo no exceda el promedio de cuarenta y ocho (48) horas semanales dentro de la jornada ordinaria de 6 a.m. a 10 p.m.” [44].

Los programadores pueden crear los turnos que sean convenientes para garantizar los aspectos anteriores respecto al recurso humano, siempre y cuando su administración permanezca bajo control. En el caso de los auxiliary (tiempo de descanso que se da a los agentes) se han definido 15 minutos por cada turno diario que supere 4 horas de labor.

Los agentes contratados cumplen con la disponibilidad de tiempo exigido para atender la demanda de llamadas. El perfil laboral exigido de los agentes corresponde a estudiantes activos de diferentes programas académicos, por lo tanto en caso de presentar algún cruce de horarios académicos con la programación laboral, será responsabilidad del agente informar de manera anticipada el conflicto horario para que el programador no lo incluya de manera inicial en la programación y de esta forma no presentar contratiempos.

El *driver* de costeo definido para la prestación del servicio se ha definido como *agente/semana*. Cada agente con contrato tipo 1 tiene un costo por un valor de \$522,500 y con contrato tipo 2 un valor de \$362,500, todos los valores son semanales con prestaciones incluidas.

Se tiene una disponibilidad de 130 agentes en el mes, de los cuales 100 tienen contrato tipo 1, y 30 tienen contrato tipo 2. De lo anterior se obtiene que el costo total de agentes en la semana sea de \$ 63.125.000, cifra que se pretende disminuir con la propuesta planteada en este estudio.

Para determinar la demanda del servicio, el call center cuenta con un histórico de llamadas recibidas por mes y hora de cada día del año 2013. Las llamadas

son atendidas bajo una estructura FIFO (primera en entrar, primera en salir) y cada llamada es atendida por un sólo agente.

La metodología actual utilizada para pronosticar es promedio móvil, con tres semanas de histórico. Se utilizan los datos por día y hora de la semana y se toma la demanda de los 3 últimos datos de llamadas de las 7:00 a.m. del día lunes, luego de las 8:00 a.m. del lunes, etc. Así mismo se hace para los demás días hasta completar la semana.

La metodología de pronósticos llevada por el Call Center, es la que se pretende tratar en el desarrollo del segundo objetivo específico. Algunas de las razones que motivan el desarrollo de una propuesta de pronósticos se debe a que es un elemento de entrada fundamental para la estimación de recurso y debe ser lo más preciso posible para un correcto ajuste de la realidad.

Posterior al pronóstico, el Call Center utiliza la calculadora de Erlang tipo C, para realizar la conversión de las llamadas a demanda de agentes y su descripción de funcionamiento se realizó en la revisión bibliográfica.

La calculadora utiliza como parámetros de entrada:

- AHT o tiempo promedio de manejo: Es la suma de tiempo en conversación y el tiempo posterior a la llamada que utiliza el agente en labores administrativas como categorizar la llamada, motivo, etc.
- Nivel de servicio (SLA): Porcentaje del total de llamadas que al ingresar deben ser contestadas antes del tiempo de servicio.
- Tiempo de servicio: El tiempo que el usuario espera en línea antes de que la llamada sea atendida.

Con el cliente se ha acordado un SLA de 80/20 (80% de las llamadas que ingresen deben ser contestadas antes de los 20 primeros segundos). Se resumen los valores para cada parámetro en la tabla 2:

Parámetro	Valor	Unidad
Nivel de Servicio Campaña	80%	Porcentaje
Tiempo de Servicio	20	Segundos
AHT	144	Segundos

Tabla 2 Parámetros para conversión de llamadas
Fuente: El autor

Con la caracterización anterior, se han identificado las restricciones de capacidad de los agentes, diaria y semanal. Las políticas de cumplimiento, como son las horas mínimas de labor por día en caso de ser programados, los descansos obligatorios, costos y nivel de servicio.

Finalmente con el pronóstico de agentes, el tiempo disponible semanal y diario por agente y demás disposiciones, el programador elabora la programación de agentes requeridos para la respectiva semana de manera manual con el uso de Excel 2010. Donde lista los agentes con su disponibilidad y la demanda requerida por periodo del día.

De esta manera a ensayo y error se asignan los agentes en cada periodo y se revisa constantemente no exceder la capacidad y cumplir con los requerimientos.

Este modelo a pesar de que programa el recurso, siguiendo una secuencia de actividades, no presenta criterios claros para la asignación de los agentes, pues el modelo puede tener diferentes soluciones dependiendo de cómo se inicie la programación manual, arrojando resultados de cumplimiento diferentes, lo que no es bueno estratégicamente para la organización. Por tal motivo en el tercer objetivo específico se pretende desarrollar una metodología sistemática que mejore los resultados actuales.

4 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La planeación de los recursos es una decisión estratégica como se mencionó anteriormente debido a su relación directa con los niveles de servicio esperado por los clientes. Así que la primera parte de la propuesta metodológica es fundamental para realizar la programación y dar cumplimiento al 2do y 3er objetivo

Mediante el esquema metodológico del gráfico 1 se presenta por fases cómo se abordará el desarrollo de las metodologías de pronósticos y programación, así como su integración como un único sistema:

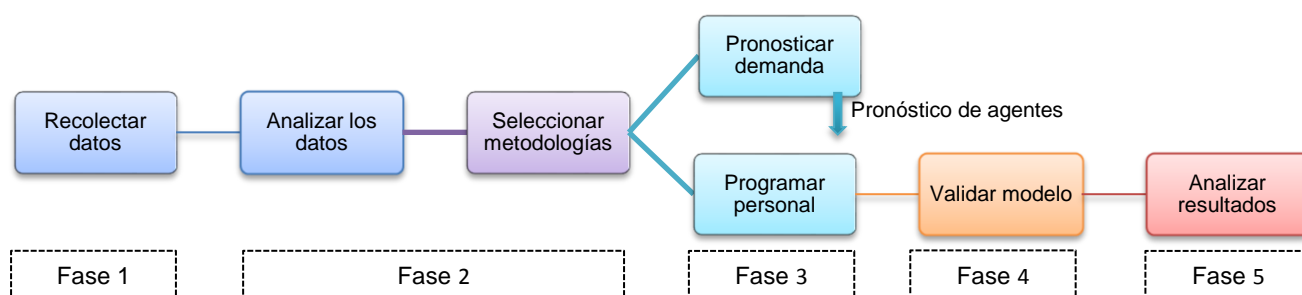


Gráfico 1 Esquema metodológico de solución
Fuente: El autor

Fase 1: La 1ra fase metodológica está compuesta por la recolección de los datos. Para llevar a cabo la realización de esta primera fase, primero se definió el objetivo de optimización correspondiente a minimizar la cantidad de agentes a programar a partir de la estimación de la demanda.

Fase 2: La 2da fase tiene como elementos de entrada, la revisión bibliográfica realizada la cual es la base para la selección de la metodología y la caracterización del objeto de estudio como elemento de identificación de los factores controlables que afectan el sistema.

En esta fase se analizan los datos de demanda y se selecciona la metodología de pronósticos más precisa y económica e implementar. Así como la selección

de la técnica de programación que debe satisfacer la minimización de los costos totales de personal.

Fase 3: En la tercera fase se inicia la aplicación de las metodologías seleccionadas. Inicialmente se debe pronosticar la cantidad de agente y validar su precisión como factor de éxito. Luego esta información será utilizada como parámetro de entrada en la programación de personal, donde se programará la menor cantidad de agentes.

Fase 4: La 4ta fase consiste en la validación de las técnicas seleccionadas a través de un caso de aplicación y con los resultados serán contrastados con el sistema real para validar el cumplimiento de los objetivos.

Fase 5: La última fase consiste en la validación de los resultados. El pronóstico de llamadas se validará mediante el uso de indicadores de precisión, comparando el resultado del método utilizado por el call center contra el método propuesto. Mientras tanto las metodologías de programación de agentes serán validadas conforme utilicen la menor cantidad de agentes para atender la demanda estimada.

Para el desarrollo de la fase 1 y 2 se seguirán los siguientes diagramas de flujo de proceso presentados en los gráfico 2 y gráfico 3. Que permitirán de manera organizada seleccionar el método de estimación de pronóstico y programación de recursos para dar cumplimiento al segundo y tercer objetivo específico.

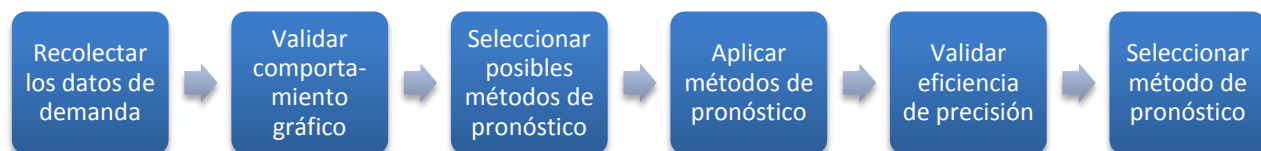


Gráfico 2 Flujo para selección de pronóstico-Fase 1 y 2

Fuente: El autor



Gráfico 3 Flujo para programación de agentes-Fase 3 y 4

Fuente: El autor

4.1 Fase 1 - Propuesta metodológica para pronosticar la demanda

Como se describió, la primera actividad del gráfico 2 corresponde a recolectar los datos históricos y analizar su comportamiento.

Los datos disponibles, se han extraído directamente de la plataforma tecnológica con la que cuenta el Call Center para el monitoreo de sus llamadas.

Es muy común encontrar que no hay disponibilidad de datos en algunas semanas o meses por inconvenientes en la plataforma tecnológica y se presenta normalmente cuando las plataformas tecnológicas son desarrollos propios de la compañía y no se cuenta con estrategias de continuidad de negocio, recuperación de desastres o redundancia de la información, características de seguridad que si ofrecen los grandes proveedores de tecnología.

La información disponible de las llamadas se encuentra por fecha y hora, lo que implica organizar la base de datos de llamadas agrupando la información por hora y día de la semana. Luego se valida que la información de todos los días de las semanas seleccionadas estén completos, sino es así hay que seleccionar otros periodos con información.

Por último es importante resaltar que la única información disponible son las llamadas del Call Center, no hay información sobre la influencia de variables externas como el incremento por temporada escolar, temporada de lluvias, etc. Lo que limita la selección de la metodología.

4.2 Fase 2 - Propuesta metodológica para pronosticar la demanda

Luego de recolectar la información, se inicia la actividad número 2 del gráfico 2, la cual consiste en validar gráficamente el comportamiento de los datos de la demanda para identificar la presencia de estacionalidades, tendencias o cualquier otro criterio que permita sugerir un procedimiento adecuado para estimar los requerimientos de personal en el horizonte de la planeación.

Posterior a la validación gráfica, se selecciona un método de pronóstico que no solo describa el sistema real, sino que su implementación con las herramientas disponibles.

Por último se validan los resultados mediante indicadores de precisión de los métodos seleccionados y se selecciona el de menor variación al compararse con el utilizado en el call center.

Los datos recolectados fueron extraídos de la plataforma tecnológica del total de llamadas ingresadas para el año 2013 (Anexo 1).

Con los datos históricos se construye una base de datos en Excel 2010 y para facilitar su manipulación, análisis y entendimiento, se generan tablas dinámicas que faciliten el análisis.

Con la tabla dinámica los datos son agrupados por día para el total del año 2013 y se realiza la gráfica 4 para facilitar la identificación de la técnica a la que se ajusta.

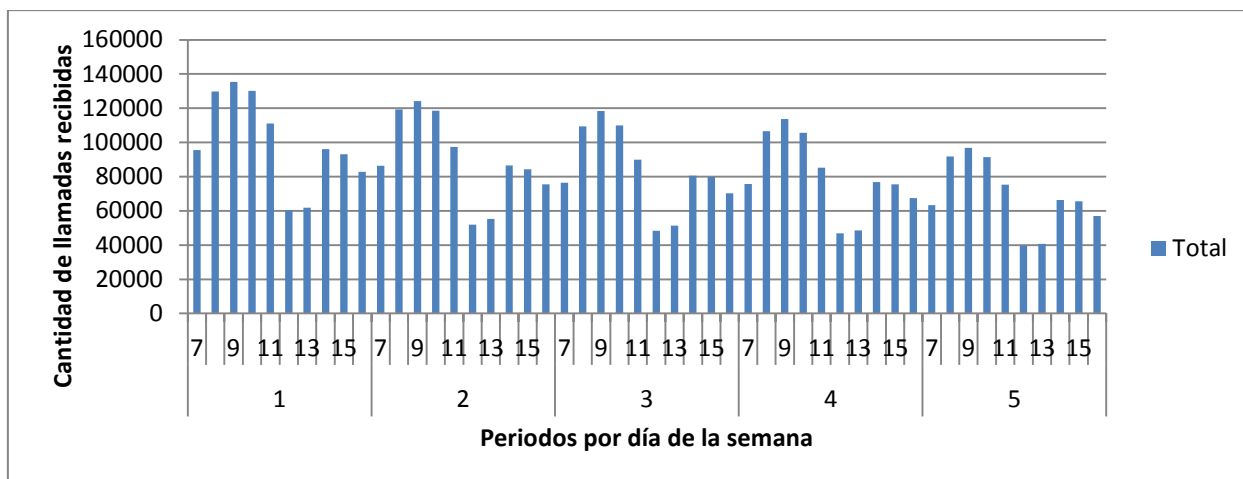


Gráfico 4 Volumen de llamadas recibidas año 2013

Fuente: El autor

El gráfico 4 muestra en el eje vertical la cantidad de llamadas ingresadas del año 2013 y en el eje horizontal las horas del día de 7:00 a.m. a las 16:00 p.m. por cada día de la semana (1 es lunes, 2 es martes, etc.).

Gráficamente se evidencia la existencia de un comportamiento estacionario de los datos y se identifica que el volumen de llamadas recibidas es mayor los lunes y menor los viernes. También se observan picos altos de volumen de llamadas entre las 8:00 a.m. y 11:00 a.m. todos los días de la semana y se repite el comportamiento en una menor proporción en la franja de 2:00 p.m. y 4:00 p.m.

La cantidad de llamadas disminuye considerablemente en la franja de 12:00 a.m. a las 13:00 p.m. Indicando que no es un horario preferente por los usuarios para realizar sus solicitudes. Como también ocurre en la primera hora del día y en la última.

El paso siguiente es seleccionar y aplicar el método de pronóstico que presente mejor rendimiento en cuanto a su precisión y que su implementación no supere los costos de la metodología utilizada por la compañía.

4.3 Fase 3, 4 y 5 – Aplicación y validación de la metodología de pronósticos

Con la propuesta metodológica del capítulo 4.1 del presente documento. Se inicia la selección y aplicación de la técnica de pronósticos que cumpla con los objetivos.

Posterior a la validación gráfica y el patrón de estacionalidad observado en el comportamiento de los datos, se selecciona una metodología para validar con la actual.

De acuerdo con la tabla 1 y los patrones identificados, la metodología de Winters puede ser una buena alternativa a contrastar con la utilizada en el Call Center. Por tal manera se seleccionará la metodología de Winters y se contrastará así:

- Promedio móvil (actual)
- Pronóstico de Winters (Propuesta)

Ambas técnicas serán validadas mediante los siguientes indicadores de precisión:

- MAD (Mean Absolute Deviation)
- ECM (Mean Square Error)

La metodología que mejor resultado arroje en el desarrollo de los indicadores anteriores, será la seleccionada para aplicar en el caso de estudio para pronosticar las llamadas que ingresarán en la semana. La demanda estimada será un parámetro de entrada al modelo de LBS a desarrollar.

Para la metodología inicial de promedio móvil, se utilizan 3 semanas de datos históricos para extraer 3 observaciones para pronosticar (ver capítulo 3 caracterización del objeto de estudio). Obteniendo los siguientes indicadores:

Metodología	MAD	ECM
Promedio móvil	627	546,824

Tabla 3 Indicadores de precisión aplicando promedio móvil

Fuente: El autor

Para la simulación de las llamadas por el método propuesto (Winters) se utilizan 4 semanas de datos históricos, las cuales serán las estaciones disponibles.

La longitud de cada estación L , es de 50 (5 días a la semana con 10 horas por día) y la cantidad de estaciones M o semanas son 4, que refieren a un mes. Con esta información se inicia la aplicación de la metodología propuesta para dar cumplimiento al objetivo específico 2, para estimar el comportamiento de las llamadas y definir los requerimientos de personal.

Parámetros de arranque	Valor
M	4
L	50
X1	1,733
X2	1,643
X3	1,545
X4=Xm	1,538

Tabla 4 Parámetros de arranque para aplicar el método Winters

Fuente: El autor

La metodología es desarrollada en Excel 2010, obteniendo los siguientes indicadores (Ver anexo 2):

Metodología	MAD	ECM
Winters	123	35,162

Tabla 5 Indicadores de precisión del pronóstico aplicando Winters

Fuente: El autor

Con los anteriores datos obtenidos en cada una de las metodologías, se puede identificar que la metodología propuesta arroja mejores resultados. El ECM es mucho menor al igual que el MAD. Lo que indica que Winters tiene un mejor comportamiento, siendo más precisa que la metodología usada por el Call Center. Ver tabla 6.

Metodología	MAD	ECM
Promedio móvil	627	546,824
Winters	123	35,162

Tabla 6 Indicadores de precisión de las metodologías aplicadas

Fuente: El autor

El gráfico 6 muestra en contraste el comportamiento del pronóstico de Winters, pronóstico promedio móvil y los datos reales para los periodos utilizados:

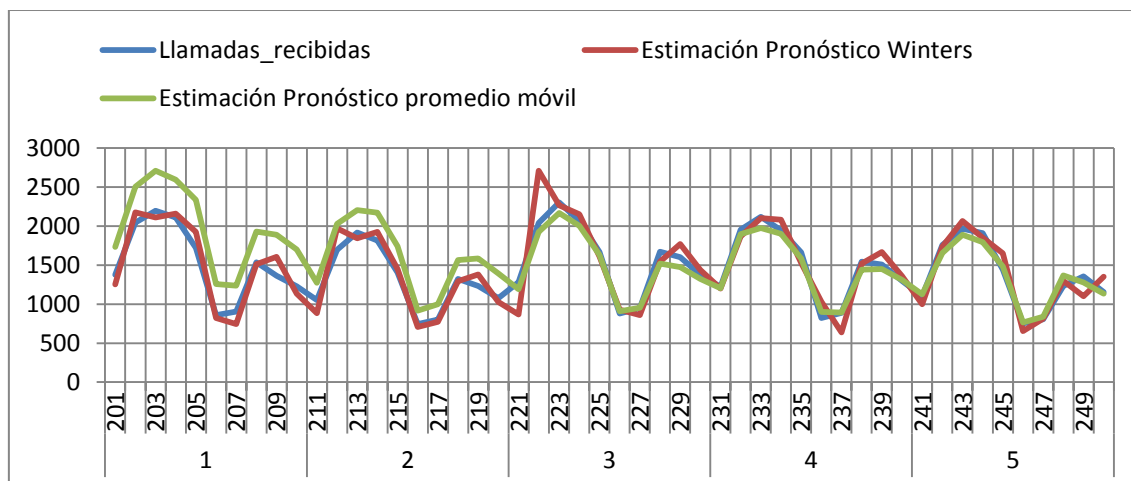


Gráfico 5 Comparación métodos de pronósticos

Fuente: El autor

Vemos que ambas metodologías tratan de seguir la estacionalidad de los días de la semana. Sin embargo el promedio móvil presenta incrementos por encima de la demanda real los días lunes y martes. Situación que causa un desfase en la capacidad de agentes requeridos y por consecuencia se incurre en un sobre costo para la organización. Una razón por la cual se podría presentar este comportamiento del pronóstico los días lunes y martes con el uso del promedio móvil, corresponde a que este método como su nombre lo indica, promedia los datos históricos, que para este caso son 3 semanas que parece tuvieron una demanda superior a la proyectada, lo que hace que los resultados (promedio) estén por encima de la demanda.

4.4 Fase 3- Formulación del modelo de programación de agentes

En esta fase se desarrolla el modelo matemático de programación de agentes de acuerdo con el diagrama de flujo presentado en el gráfico 3.

La primera actividad corresponde a la definición de la función objetivo y su criterio de optimalidad. En su estructuración se da respuesta a la pregunta problema planteada en el capítulo 2. Minimizar la cantidad de agentes cumpliendo con los requerimientos de demanda y políticas establecidas.

La segunda actividad a ejecutar según el gráfico 3, es plantear las variables de decisión. Para lo cual se selecciona un conjunto de variables binarias que activan y desactivan los agentes en los periodos del día y sus respectivos descansos.

Con las variables identificadas, se plantea las restricciones del sistema asociadas a políticas de la compañía, trabajo mínimo por agente, descansos y cumplimiento de demanda conservando el nivel de servicio pactado con el cliente.

Por último se construye el modelo matemático como se verá a continuación y se realiza su respectiva validación con el caso de estudio seleccionado.

Notación y definición del modelo

Conjuntos

TIME = Conjunto de horas en los que se divide el día

DIA = Conjunto de días que componen la semana

AGT = Conjunto de agentes disponibles por semana

Índices

t = Hora

d = Día

a = Agentes

Parámetros

DEM_{dt} = Demanda de agentes en el día d en la hora t

$Costo_{agt_a}$ = Costo semanal de asignar el agente a

Cap_{dia_a} = Capacidad máxima de horas disponibles por día por agente a

Cap_{sem_a} = Capacidad máxima de horas disponibles por semana por agente a

$Periodos_{min_a}$

= Cantidad de horas mínimas a programar cada agente a por día

Variables

$X_{adt} = \begin{cases} 1: \text{El agente } a \text{ es asignado el día } d \text{ en la hora } t \\ 0: \text{Lo contrario} \end{cases}$

$Y_a = \begin{cases} 1: \text{Si se programa el agente } a \\ 0: \text{Lo contrario} \end{cases}$

$XE_{adt} = \begin{cases} 1: \text{Si el agente } a \text{ inicia su jornada el día } d \text{ en la hora } t \\ 0: \text{Lo contrario} \end{cases}$

$Q_{adt} = \begin{cases} 1: \text{Si se programa un periodo adicional al agente } a \text{ el día } d \text{ en la hora } t \\ 0: \text{Lo contrario} \end{cases}$

4.4.1 Formulación verbal

Función objetivo: Minimizar la cantidad de agentes a activar en el horizonte de tiempo de programación, una semana de lunes a viernes.

Restricciones =

1. Capacidad semanal por agente.
2. Capacidad diaria por agente.
3. Horas mínimas a laborar por día por agente.
4. Satisfacción de demanda de agentes por día por periodo.

5. Asegurar periodo de arranque antes de asignar jornada
6. Asignación de único periodo de inicio.
7. Asegurar que se haya asignado una jornada de trabajo antes de asignar un periodo adicional.
8. Asegurar que se haya asignado un periodo de arranque antes de asignar un periodo adicional.
9. Asignación de periodo de arranque si el agente fue activado.
10. Asignación de jornada de trabajo si el agente fue activado.
11. Programación de periodos de descanso mínimos.

4.4.2 Formulación matemática

Función objetivo

Minimizar costo = Costo a la semana de asignar agente.

$$Min = \sum_{a \in AGT} Y_a * Costo_{agt_a}$$

Restricciones =

1. Capacidad semanal por agente.

$$\sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIME} X_{adt} \leq Cap_{sem_a} * Y_a \quad \forall a \in AGT$$

2. Capacidad diaria por agente.

$$\sum_{t \in TIME} X_{adt} \leq Cap_{dia_a} * \sum_{t \in TIME} XE_{adt} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA$$

3. Horas mínimas a laborar por día por agente.

$$\sum_{t \in TIME} X_{adt} \geq Periodos_{min_a} * \sum_{t \in TIME} XE_{adt} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA$$

4. Satisfacción de demanda de agentes por día por hora.

$$\sum_{a \in AGENTES} X_{adt} = DEM_{dt} + \sum_{a \in AGENTES} Q_{adt} \quad \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

5. Asegurar hora de arranque antes de asignar jornada.

$$\sum_{l \in TIME / l \leq t} X_{adl} \leq Cap_dia_a \cdot \sum_{s / s \leq t} XE_{ads} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

6. Asignación de único periodo de inicio.

$$X_{adt} + XE_{ad(t+1)} \geq X_{ad(t+1)} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall (t-1) \in TIME$$

7. Asegurar que se haya asignado una jornada de trabajo antes de asignar una hora adicional.

$$Q_{adt} \leq X_{adt} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

8. Asegurar que se haya asignado una hora de arranque antes de asignar una hora adicional

$$Q_{adt} \leq \sum_{t2 \in TIME} XE_{adt2} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

9. Asignación de hora de arranque si el agente fue activado

$$\sum_{t \in TIME} XE_{adt} \leq Y_a \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

10. Asignación de jornada de trabajo si el agente fue activado.

$$X_{adt} \leq Y_a \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

11. Programación de horas de descanso mínimos.

$$\sum_t Q_{adt} \geq \sum_t XE_{adt} * 0.25 \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA$$

4.4.3 Descripción del modelo

Función objetivo:

$$Min = \sum_{a \in AGT} Y_a * Costo_{agt_a}$$

La F.O minimiza la cantidad de agentes a activar en el horizonte en la semana comprendida de lunes a viernes a programar.

Restricciones =

1. La restricción 1 es de capacidad semanal. Establece la cantidad máxima de horas a la semana disponibles para cada agente.

$$\sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIME} X_{adt} \leq Cap_{sem_a} * Y_a \quad \forall a \in AGT$$

2. La restricción 2 es de capacidad diaria. Establece la cantidad máxima de horas al día disponibles para cada agente.

$$\sum_{t \in TIME} X_{adt} \leq Cap_{dia_a} * \sum_{t \in TIME} XE_{adt} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA$$

3. La restricción 3 garantiza tiempo mínimo a laborar por día. Asegura que para cada día que se programe el agente, trabaje como mínimo 4 horas. Se evalúa la suma de horas t programadas en el día para cada agente con la cantidad mínima de horas que deben ser programados y este parámetro se multiplica por la variable XE_{adt} que indica si el agente fue programado en algún periodo del día.

$$\sum_{t \in TIME} X_{adt} \geq Periodos_{min_a} * \sum_{t \in TIME} XE_{adt} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA$$

4. La restricción 4 es de satisfacción de demanda. La sumatoria de agentes programados $\sum_{a \in AGENTES} X_{adt}$, en cada periodo del día debe ser igual a la demanda de agentes en cada periodo del día, más los agentes programados adicionalmente en el periodo. Si el agente ha sido programado y la demanda de agentes ya ha sido satisfecha, entonces la

variable Q_{adt} indicará que al agente se le ha programado ese periodo como adicional en ese día.

$$\sum_{a \in AGENTES} X_{adt} = DEM_{dt} + \sum_{a \in AGENTES} Q_{adt} \quad \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

5. La restricción 5 no permite que se programe al agente en una hora del día sin haberle indicado la hora de inicio de jornada a dicho agente. De tal forma que se evalúa la suma de los periodos t programados en el día para el agente, con la suma de periodos s de inicio de arranque indicados al agente.

$$\sum_{l \in TIME / l \leq t} X_{adl} \leq Cap_dia_a \cdot \sum_{s / s \leq t} XE_{ads} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

6. La restricción 6 asegura que sólo se pueda programar al agente en una hora específica del día, siempre y cuando el agente ya haya iniciado jornada. No se puede programar al agente sin haber indicado la hora de inicio de su jornada.

Si se asigna el agente en la hora $(t+1)$, entonces quiere decir que el agente inicia su jornada del día en la misma hora $(t+1)$ que fue programado o por el contrario el agente se programó en una hora t anterior.

De acuerdo con la estructura de la restricción podría ocurrir el escenario en el que el agente haya sido programado en el periodo t y también inicie su jornada en el periodo $(t+1)$.

Lo anterior es un escenario que no puede cumplirse, puesto que el agente no debe ser programado sin antes indicarle el inicio de su jornada laboral de acuerdo con la estructura de la restricción 5.

$$X_{adt} + XE_{ad(t+1)} \geq X_{ad(t+1)} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall (t-1) \in TIME$$

7. La restricción 7 asegura que si el agente tiene asignado una hora adicional para cada día es porque el agente fue programado para laborar en esa hora en ese día. Bajo ninguna circunstancia se le puede asignar al agente un periodo adicional al día sin programarlo.

$$Q_{adt} \leq X_{adt} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

8. La restricción 8 asegura que para cada agente que se haya asignado un periodo adicional en el día, se le tuvo que haber asignado un periodo de arranque o inicio de jornada en el día al agente. Esta restricción no permite que se le asigne el periodo adicional sin haberse asignado el inicio de jornada.

$$Q_{adt} \leq \sum_{t2 \in TIME} XE_{adt2} \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

9. La restricción 9 asegura que antes de indicar el periodo de inicio del día a cada agente, este agente tuvo que programarse o activarse, de lo contrario no se puede indicar inicio de jornada.

$$\sum_{t \in TIME} XE_{adt} \leq Y_a \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

10. La restricción 10 asegura que antes de indicar la jornada a cumplir en cada día cada agente, primero se tuvo que haber activado el agente, de lo contrario no puede ser posible.

$$X_{adt} \leq Y_a \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

11. La restricción 11 asegura que para cada agente se programe como mínimo un periodo sobrante para ser utilizado como descanso, siempre y cuando al agente se le haya asignado un periodo de arranque.

$$\sum_t Q_{adt} \geq \sum_t XE_{adt} * 0.25 \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA$$

Posterior al desarrollo del modelo matemático del modelo, el paso siguiente es validarlo, seleccionando un caso de estudio donde se aplicará el modelo, se analizará el cumplimiento de políticas, restricciones y cumplimiento del objetivo principal. Para la formulación en Ampl del modelo ver anexo 3.

4.5 Fase 4 - Aplicación de la propuesta de programación en el caso de estudio

4.5.1 Datos de entrada

La metodología de Scheduling propuesta será aplicada para programar los agentes requeridos, tomando el pronóstico de llamadas calculado con el uso de la metodología de Winters.

Requerimientos de demanda

Los requerimientos de personal estimados por día y hora son:

Día	Hora	Agentes requeridos	Día	Hora	Agentes requeridos	Día	Hora	Agentes requeridos
1	7	55	3	7	40	5	7	45
1	8	93	3	8	115	5	8	75
1	9	91	3	9	97	5	9	89
1	10	93	3	10	92	5	10	80
1	11	83	3	11	70	5	11	72
1	12	38	3	12	42	5	12	31
1	13	34	3	13	39	5	13	37
1	14	66	3	14	67	5	14	57
1	15	70	3	15	77	5	15	49
1	16	51	3	16	63	5	16	60
2	7	40	4	7	53			
2	8	85	4	8	81			
2	9	80	4	9	90			
2	10	83	4	10	89			
2	11	64	4	11	67			
2	12	33	4	12	46			
2	13	36	4	13	30			
2	14	57	4	14	67			
2	15	61	4	15	73			
2	16	46	4	16	60			

Tabla 7 Requerimientos de personal para la semana de aplicación

Fuente: El autor

Parámetros

- Para satisfacer los requerimientos de personal se cuenta con 100 agentes tipo 1 y 30 agentes tipo 2. Su respectivo costo es de \$522.500 y \$ 362.500 semanal, siempre y cuando el agente haya sido programado en cualquier día.
- El tiempo disponible semanal para los agentes tipo 1 es de 41 horas y para los agentes tipo 2 es de 24 horas.
- El tiempo disponible diario para los agentes tipo 1 es de 10 horas y para los agentes tipo 2 es de 6 horas.
- Se debe programar un descanso de 15 minutos a cada agente por cada 4 horas continuas de labor en el día.
- El horizonte de programación corresponde a 1 semana comprendida de lunes a viernes, con servicio disponible de 7:00 a.m. a 4:00 p.m.
- La cantidad de horas mínimas a programar cada agente por día es de 4 horas, siempre y cuando se decida programar al agente en ese día.
- Cada agente programado debe trabajar las horas asignadas en el día de manera continua. Por ningún motivo pueden existir interferencias en la jornada programada.

Supuestos

- **Los agentes disponibles cuentan con las habilidades requeridas para responder las llamadas.** Lo que indica que no hay una clasificación a nivel interno entre los agentes según sus habilidades. Por ejemplo, se pueden clasificar los agentes por el tipo de idioma que manejan. De esa manera dependiendo el país de origen de la llamada, se asigna un agente específico capaz de sostener la conversación en el idioma que se requiere.

Para el caso de estudio, todas las llamadas ingresan en el mismo idioma y por el mismo motivo. Además el Call Center cuenta con procesos de capacitación robustos que garantizan un mismo nivel de conocimiento en los agentes antes de iniciar labores. Así que

no habrá que considerar tipos de agentes en el modelo, que implicaría el posible uso de un conjunto adicional.

- **Se considerará un solo tipo de agente durante la prestación del servicio:** No se transfiere la llamada entre varios agentes. El mismo agente que recibe la llamada debe terminarla. Lo que facilita la estimación de agentes que se requieren según la cantidad de llamadas que ingresan, sí esto no fuera así los parámetros de arranque en la calculadora de Erlang (Tabla 2) no serían correctos y habría que hacer una estimación diferente por calcular el tiempo de duración de la llamada de los diferentes agentes para estimar cuantos agentes de cada tipo de habilidad serían requeridos.
- **Se considera un solo tipo de llamadas:** Las llamadas que ingresan a la línea telefónica son específicamente para asignación de citas médicas, no se atienden otros servicios como servicio al cliente, consulta de estados de cuenta, etc. Estos servicios tienen líneas independientes, así que el pronóstico calculado no tiene ninguna clasificación adicional, toda corresponde a la asignación de citas. No se requiere hacer una clasificación adicional a los datos de demanda que implicara asignar agentes dependiendo el tipo de llamada que ingrese al sistema.
- **No se consideran caídas del sistema de telefonía que ocasionen re-llamadas por parte del usuario:** Las llamadas pueden interrumpirse por caídas del sistema, mantenimientos o indisponibilidad de la línea telefónica por parte de los proveedores locales, provocando que los usuarios marquen de nuevo para reanudar su solicitud. Por la dificultad en la medición de estos eventos y la no disponibilidad de su clasificación en los datos históricos de demanda, se considera que el pronóstico de

llamadas corresponde a nuevas solicitudes de citas. Es decir todas las re-llamadas se consideran como una nueva llamada que deben atender los agentes.

Sí existiera la clasificación interna en los datos de cuáles son llamadas y cuales son re-llamadas. Los pronósticos se realizarían sobre la base de las nuevas llamadas y las re-llamadas deben ser tratadas de manera diferente, identificando primero las causas de la situación para poder asignar un método correcto de estimación por ejemplo tablas de probabilidad de ocurrencia dependiendo el agente que atienda la llamada o la hora de ingreso de la misma.

- **No se permiten recargos extras:** Sólo se cuenta con la disponibilidad de horas semanales y horas diarias por cada tipo de agente de acuerdo con el contrato definido por el Call Center. Es decir que si se requiere cubrir un periodo adicional y al agente se la ha consumido el total de horas disponibles, deberá llamarse un nuevo agente. Esto nos indica que no hay necesidad en el modelo de crear variables de decisión para la asignación de horas extras a los agente.

4.6 Corrida del modelo y análisis de resultados

Con la información recolectada del caso de estudio, se realiza la aplicación del modelo de programación lineal en el lenguaje de AMPL, utilizando el solucionador disponible para modelos de programación lineal entera mixta *Gurobi del Neos Server for Optimization*.

El modelo presenta 19.630 variables binarias y 33.986 restricciones para los datos de entrada.

4.6.1 Fase 5 - Análisis de la implementación del modelo

En la implementación de la metodología de pronósticos, primero se seleccionó información de demanda que estuviera completa, donde la operación en el Call Center, se haya prestado sin contratiempos que pudieran afectar los datos.

La información se agrupó por periodo, día y mes. Luego fue graficada para ver su comportamiento y se validó con el programador del Call Center, si los datos tomados presentaban alguna inconsistencia o comportamiento poco común, que implicara desestimar información.

Se seleccionó 1 mes de información para la aplicación de la metodología. Los datos del mes seleccionado no contenían días festivos, garantizando la misma longitud estacional de cada estación para la aplicación de la metodología de Winters.

Con la información organizada en Excel 2010, se procede a realizar la estimación de los parámetros de arranque de la tabla 4 e iniciar con la aplicación de la metodología de Winters.

Con el pronóstico de llamadas, se realizó la conversión de las mismas a agentes por periodo, utilizando el método definido por el Call Center, que corresponde a la calculadora de Erlang tipo C, que no tiene en cuenta los abandonos de las llamadas y para su funcionamiento requiere los parámetros declarados en la tabla 2.

Por último se culminó la fase 5 para los pronósticos validando que la técnica de Winters es mejor que el promedio móvil para los datos estudiados, ver tabla 6 *indicadores de precisión de las metodologías aplicadas.*

Luego de la implementación del análisis del pronóstico, se validó la ejecución del modelo y el cumplimiento de las restricciones dadas, tiempo mínimo de programación, tiempo máximo diario, semanal disponible por agente,

asignación de periodos adicionales y continuidad en las horas de las jornadas laboradas por los agentes.

Una validación importante fue la asignación de los periodos de arranque antes de asignar la jornada de trabajo. A cada agente sólo se le asignó una hora de arranque, asegurando continuidad de periodos trabajados de cada agente activo. Lo que indica que a partir del periodo de arranque el agente debía laborar los periodos indicados sin interrupción. Lo que en efecto se cumplió satisfactoriamente con el modelo ejecutado.

En cuanto a la asignación de periodos adicionales, inicialmente se corrió el modelo tratando periodos 15 minutos, lo que impidió que el modelo fuera ejecutado por el solucionador por su alto nivel de complejidad.

La solución ante la complejidad de la asignación de periodos adicionales para descanso, fue trabajar con horas como unidad de tiempo en los periodos para facilitar la obtención de los resultados. Con esta característica, se modificó la restricción número 11, indicándole que la cantidad de periodos sobrantes requeridos debían ser como mínimo la sumatoria de agentes activos dividido por 4 (por cada hora adicional asignada a un agente, se puede dar descanso a 4 agentes).

Posterior a la validación del cumplimiento total de las restricciones, se inicia el análisis sobre los agentes asignados por tipo de contrato y su respectivo costo, así:

Costo Min por semana	Cantidad Agentes T1	Cantidad Agentes T2
\$ 55,287,500	85	30

Tabla 8 Resultados de la aplicación del modelo

Fuente: El autor

La tabla 8, indica que para obtener el menor costo semanal, se requieren 85 agentes Tipo 1 y 30 agentes tipo 2. Dejando libre de uso 15 agentes tipo 1 del total disponible.

La programación por agente realizada por en el Call Center se encuentra en el anexo 4 y la programación del modelo se encuentra en el anexo 5.

Estado	Costo Min por semana	Cantidad Agentes T1	Cantidad Agentes T2
Actual	\$ 63,125,000	100	30
Propuesto	\$ 55,287,500	85	30

Tabla 9 Resultados del modelo propuesto vs estado actual

Fuente: El autor

Los resultados de la tabla 9, reflejan que con la propuesta de programación los ahorros en personal son de \$ 7,837,500 semanales debido a que con sólo 88.5% de la planta total de personal disponible, se puede atender la demanda total. Al resultado se le debe sumar la reducción en el tiempo de programación del programador que corresponde a 4 horas del día cada semana. Con un salario mensual de \$ 3,200,000 y por hora de \$20,000, los ahorros estimados serían aproximadamente de \$80,000 por semana. Además la posibilidad de asignar nuevas tareas al programador asociadas al mejoramiento continuo del proceso de pronóstico, programación y análisis de resultados del servicio.

Por último los resultados indican que los agentes tipo 2 o medio tiempo, son la primera opción a programar. Se utilizó el total de agentes disponibles de esta categoría, que a pesar de ser más costosos por hora (ver tabla 10 en la parte inferior) permiten al modelo ser mucho más flexible para la programación semanal, dando un resultado más económico y logrando una disminución de los costos totales de personal a la semana.

Tipo agente	Costo (\$/sem)	Cap. máx. semanal (hr/sem)	Costo (\$/hora)
T1	\$ 522,500	41	\$ 12,744
T2	\$ 362,500	24	\$ 15,104

Tabla 10 Costo por hora por tipo de agente

Fuente: El autor

4.6.2 Fase 5 - Análisis de la programación de agentes

Se revisa la cantidad de agentes programados con el modelo desarrollado, comparando la metodología utilizada por el Call Center y la demanda de agentes en cada periodo y día de la semana:

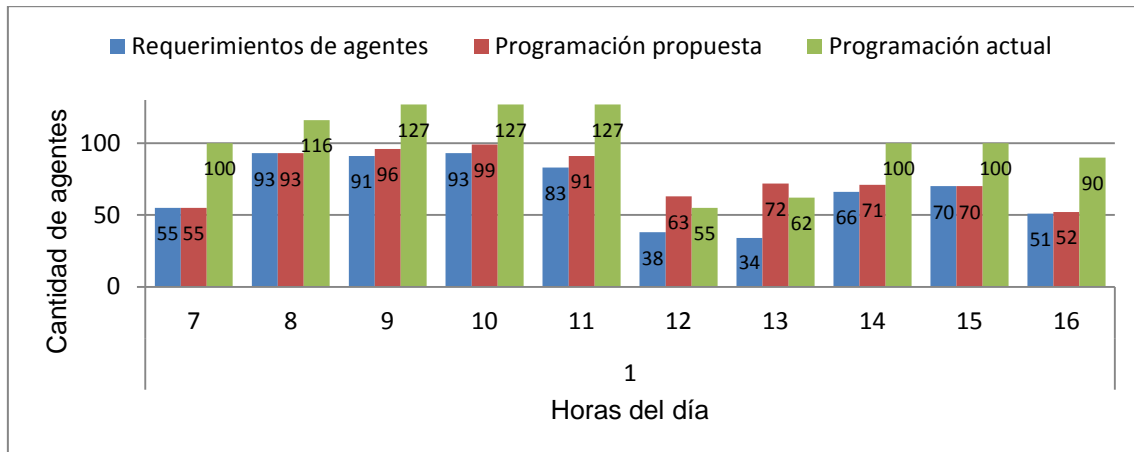


Gráfico 6 Programación de agentes día Lunes
Fuente: El autor

La programación para el día lunes muestra que el método del Call Center sobredimensiona la capacidad en todos los periodos del día lunes. Sólo presenta mejoras en la franja de las 12:00 p.m. y 1:00 p.m. donde la cantidad de agentes es inferior a la arrojada por el modelo.

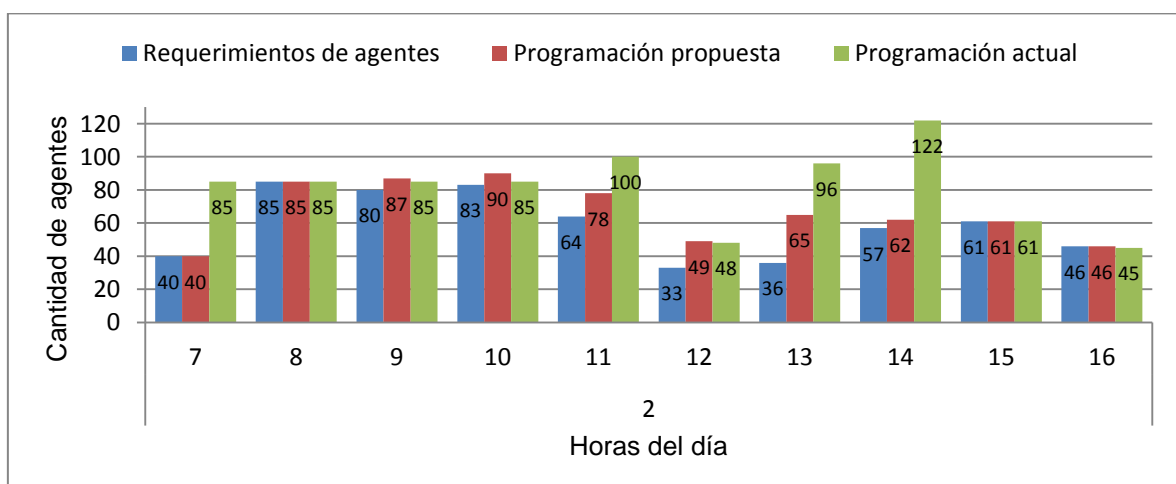


Gráfico 7 Programación de agentes día Martes
Fuente: El autor

Para el día martes la programación del recurso en la jornada de la mañana hasta las 10:00 a.m. y finalizando la tarde, el método usado por Call Center arroja resultados muy cercanos al modelo propuesto y en algunas horas se desempeña mejor. Sin embargo entre las 11:00 a.m. y 2:00 p.m. el modelo sobredimensiona de manera significativa la capacidad.

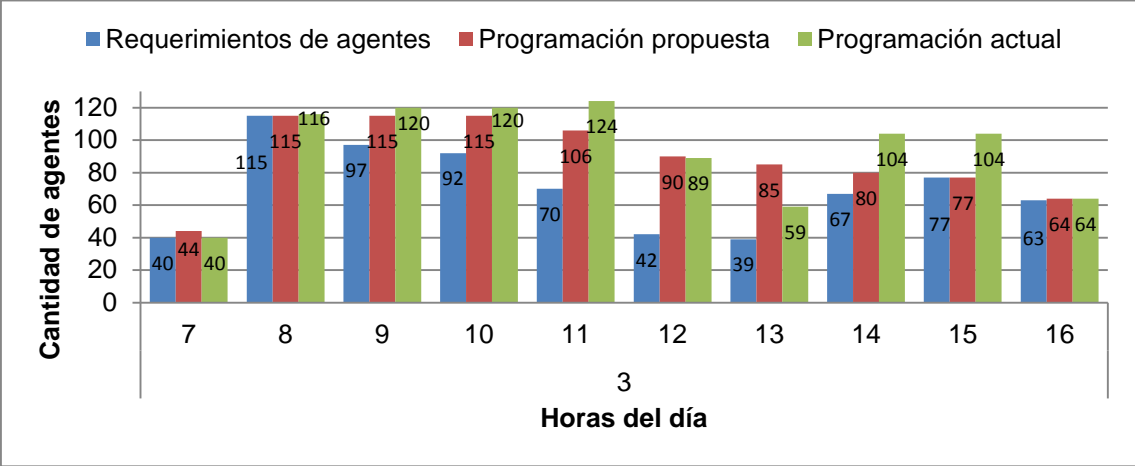


Gráfico 8 Programación de agentes día Miércoles
Fuente: El autor

Para el día miércoles los métodos arrojan resultados bastante similares, las diferencias notorias en la cantidad de agentes programados por el método del Call Center se evidencian en las 2:00 p.m. y 3:00 p.m.

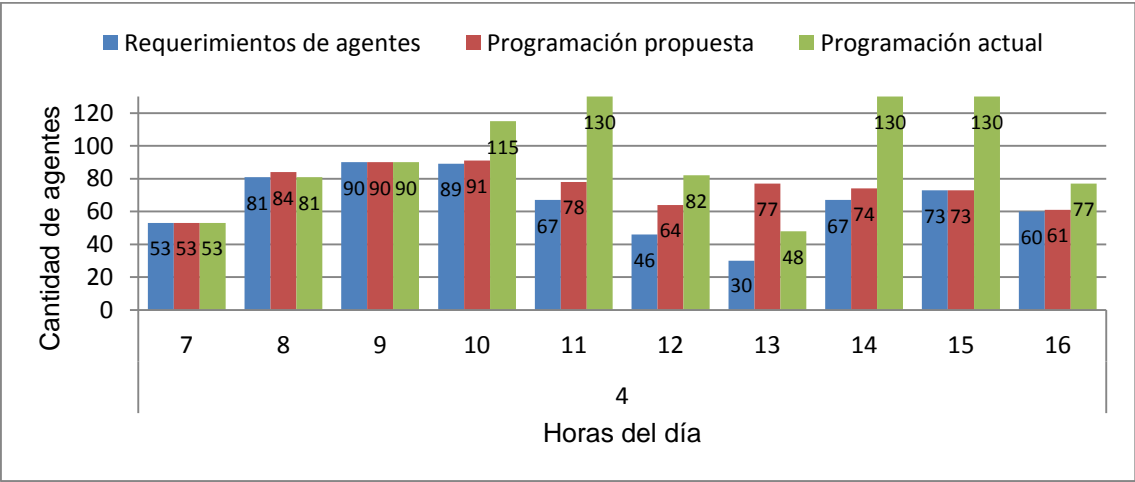


Gráfico 9 Programación de agentes día Jueves
Fuente: El autor

Los resultados de la programación del día jueves son muy similares hasta las 10:00 a.m. Sin embargo el método propuesto es significativamente más ajustado en el resto de los periodos.

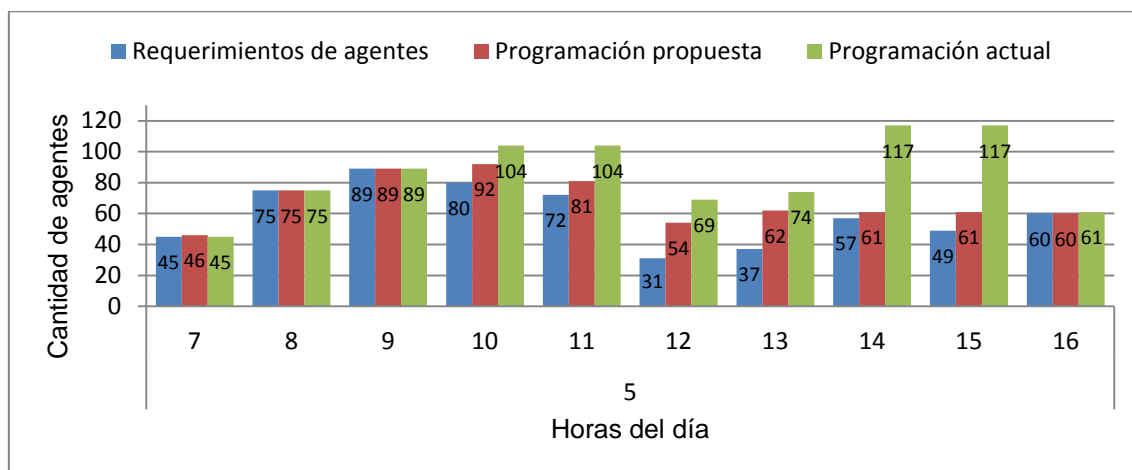


Gráfico 10 Programación de agentes día Viernes
Fuente: El autor

Para el día viernes el método del Call Center repite un sobredimensionamiento de capacidad a partir de las 11:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. Indicando que el modelo propuesto tiene mejor rendimiento

Si se revisa en conjunto los resultados de programación por día se puede inferir que la cantidad de agentes programados con la metodología del Call Center en la mayoría de los casos está por encima de la cantidad de agentes demandada y programada por el modelo propuesto.

La variación en la jornada de la mañana y en la tarde confirma que la metodología del Call Center no tiene un criterio claro para la asignación del recurso debido a la manualidad en su ejecución. Lo que ocasiona en ocasiones aciertos en la cantidad a programar y en otras se aleja del valor demandado.

La utilización del método manual no indica que sea inapropiado, puesto que resuelve el problema de programación pero a un costo mayor y con incertidumbre frente al cumplimiento de los requerimientos de servicio. Pues garantizar que se programe el mínimo requerido depende de la habilidad del programador y ante cualquier error humano podría pasar por alto.

Mientras tanto, con el método propuesto se programan menos agentes en la mayoría de los casos y se alcanzan los niveles de demanda exigidos, casi programando exactamente la cantidad de agentes demandada en cada periodo. Pero nunca asignando menos agentes de lo requerido, lo que se garantiza con el cumplimiento de la restricción de demanda número 4.

A pesar de que en algunos periodos los agentes programados son exactamente la cantidad demandada y considerando el error propio de los métodos de pronóstico, el Call Center dispone de una planta aproximada de 12 agentes denominados flotantes. Los cuales están presentes como estrategia de continuidad del servicio ante imprecisiones del pronóstico o la no disponibilidad del agente por incapacidades, renunciaciones o despidos no planeados.

Al analizar los métodos de programación (actual y propuesto), se evidencia un sobredimensionamiento en la franja horaria del almuerzo (12:00 p.m. – 1:00 p.m.) debido a que la cantidad de llamadas disminuye considerablemente y la política de 4 horas de labor como mínimo para cada agente activo, hace poco flexible la programación.

Para esta parte, se programará de manera manual el descanso de almuerzo de los agentes, de la misma manera que se lleva a cabo en el Call Center. Teniendo en cuenta el sobredimensionamiento, sacando a almorzar la mayor cantidad de agentes posible a las 12:00 p.m. y la otra a la 1:00 p.m.

Una revisión adicional se realiza en el porcentaje de uso de la capacidad de los agentes en el estado actual contra el porcentaje de uso de la capacidad del modelo propuesto. La intención es identificar cuál de las dos metodologías arroja menores costos totales de personal y utiliza mejor la capacidad semanal disponible de los agentes.

Los gráficos 12 y 13 muestran cómo se distribuye la planta de agentes disponibles según el porcentaje de utilización de la capacidad semanal disponible por agente. La utilización ha sido agrupada en los intervalos presentados al lado derecho de cada gráfico. Los valores del 0% y 100% de utilización, se han marcado de manera independiente en el gráfico para permitir

analizar el comportamiento de agentes que se utilizan al 100% y agentes que se utilizan al 0% (que no se programan).

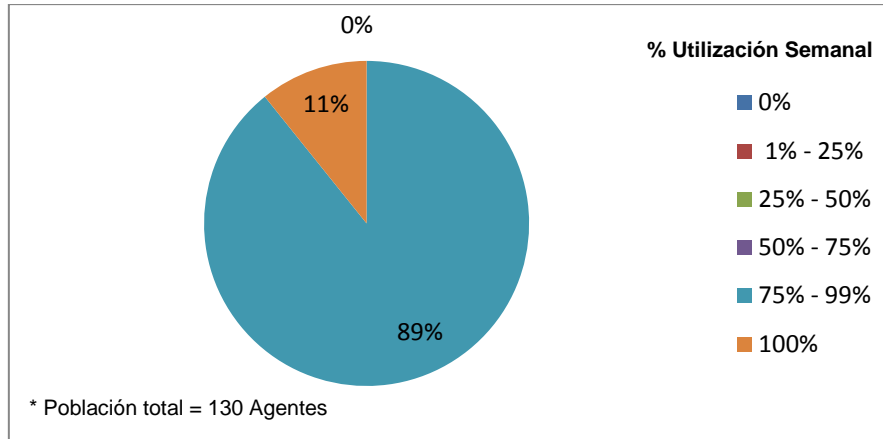


Gráfico 11 Estado actual - Porcentaje de utilización de agentes
Fuente: El autor

El gráfico 12, muestra que utilizando el método de programación manual del Call Center, sólo el 11% del total de la planta de agentes es utilizado al 100% de la capacidad semanal y el 89% restante de la planta, es utilizada entre el 75% y 99% de la capacidad semanal.

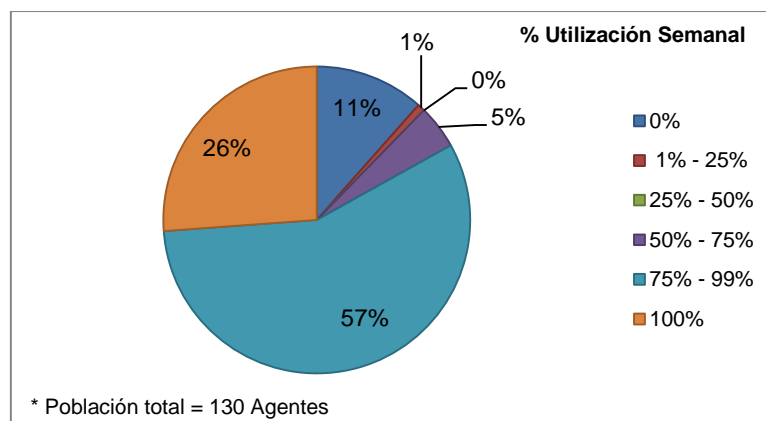


Gráfico 12 Propuesta - Porcentaje de utilización de agentes
Fuente: El autor

El gráfico 13 muestra que el 26% del total de la planta de agentes son utilizados al 100% de la capacidad semanal, el 57% de la población se utiliza entre el 75% y 99% y otro 11% de la población no es utilizada.

Los resultados anteriores indican que el modelo actual, utiliza el total de agentes (los 130) entre el 75% y 99% de la capacidad semanal disponible. Si además se tiene en cuenta la información inferida de los gráficos de programación por cada día de la semana, se evidencia que el modelo usado por el Call Center es ineficiente por el sobredimensionamiento y mayor uso del recurso comparado con el modelo propuesto, el cual logra atender la demanda con 15 agentes menos y menor utilización del recurso

La programación de cada agente en la semana, su hora de inicio y fin de la jornada para cada día se muestra en los anexos.

5 EVALUACIÓN DE ESCENARIOS

Se proponen los siguientes 6 escenarios para la evaluación del modelo, en los cuales se modifican algunos de los parámetros de entrada. Pretendiendo evaluar estas variaciones en la función de desempeño y validar si se presentan mejoras a los resultados obtenidos inicialmente. El objetivo de cada escenario y el detalle de las modificaciones asociadas en el modelo se presentarán en el desarrollo de cada uno. Los escenarios son:

1. Disponibilidad de agentes: Se modificará la cantidad de agentes disponibles e identificar si con una nueva disponibilidad se puede encontrar una mejor solución
2. Disponibilidad de horas: Se incrementará la cantidad de horas semanales disponibles a los agentes y validar si es posible utilizar menos agentes pero con mayor capacidad semanal.
3. Programación mínima: Se disminuirá la cantidad mínima de horas a programar cada agente para dar mayor flexibilidad a la programación e identificar si es posible disminuir los agentes a programar
4. Eliminación de descansos: Se eliminará la restricción de descanso y validar su impacto en la cantidad de agentes programados.
5. Limitación de la jornada de almuerzo: Se limitará programación a un número específico de agentes en la jornada del almuerzo y analizar si el modelo es más eficiente y logra programar menos agentes.
6. Incremento en la utilización: Se forzará el modelo para incrementar el uso de la capacidad de los agentes y validar si es posible utilizar menos agentes.

5.1 Escenario 1- Disponibilidad de agentes

El primer escenario a desarrollar consiste en modificar la cantidad de agentes disponibles por cada tipo de contrato y validar su costo y cumplimiento de restricciones. El objetivo de las iteraciones es encontrar si existe una mejor combinación de agentes con contrato tipo 1 y tipo 2, que disminuyan el costo total y cumplan con los requerimientos de demanda a un menor costo.

En caso de encontrar una combinación que cumpla con el objetivo anterior, se tendrá que revalidar la política de agentes disponibles de la empresa como sugerencia para la disminución de los costos de personal.

En la tabla 12 se proponen combinaciones de agentes de acuerdo con su tipo de contrato. Para llevar a cabo estas modificaciones y correr el modelo es necesario modificar en la tabla de datos de *Ampl* el parámetro de capacidad diaria *param Cap_día* donde especificaremos los agentes que se requieran con 10 y 6 horas y también modificar la capacidad semanal con el parámetro *param Cap_sem* con 41 y 24 horas, de acuerdo con el tipo de contrato.

Iteración	Descripción	Iteración	Descripción
1	100 agentes T1 30 agentes T2	6	90 agentes T1 40 agentes T2
2	150 agentes T1	7	80 agentes T1 50 agentes T2
3	150 agentes T2	8	70 agentes T1 60 agentes T2
4	120 agentes T1 10 agentes T2	9	60 agentes T1 70 agentes T2
5	110 agentes T1 20 agentes T2		

Tabla 11 Cambios de la disponibilidad de agentes

Fuente: El autor

Al ejecutar las combinaciones de agentes de la tabla 12, los resultados de cada iteración se muestran consolidados en el gráfico 14. Donde el eje x es cada iteración y el eje y la cantidad de agentes y costo.

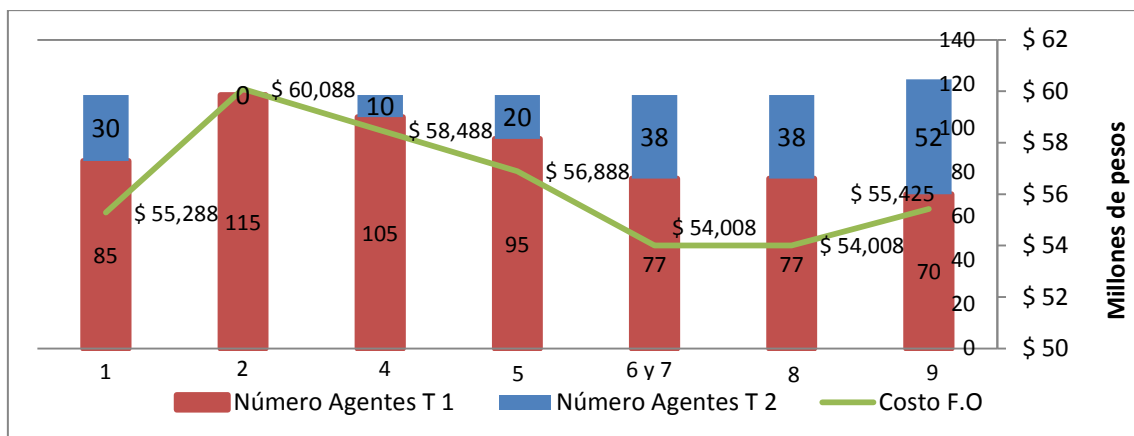


Gráfico 13 Desempeño del costo vs disponibilidad de agentes

Fuente: El autor

En el gráfico 14 se muestra los puntos en los que la combinación de agentes tipo 1 y tipo 2 comienza a incrementar los costos y a disminuirlos, ratificando que con la combinación de 77 agente tipo 1 y 38 agentes tipo se obtiene el menor costo y a partir de ahí vuelven a incrementar.

Iteración	Planta Agt. T1	Planta Agt. T2	Costo planta instalada	F.O	Cantidad Agentes T1	Cantidad Agentes T2
1	100	30	\$ 78,800,000	\$ 55,287,500	85	30
2	150	0	\$ 78,375,000	\$ 60,087,500	115	0
3	0	150	\$ 54,375,000	Infactible	N/A	N/A
4	120	10	\$ 66,325,000	\$ 58,487,500	105	10
5	110	20	\$ 64,725,000	\$ 56,887,500	95	20
6	90	40	\$ 61,525,000	\$ 54,007,500	77	38
7	80	50	\$ 59,925,000	\$ 54,007,500	77	38
8	70	60	\$ 58,325,000	\$ 55,425,000	70	52
9	60	70	\$ 56,725,000	Infactible	N/A	N/A

Tabla 12 Resultados de escenario 1

Fuente: El autor

En la tabla en la tabla 13 se consolidan los resultados obtenidos y se comparan con la planta de agentes disponibles para cada corrida y se presenta también el costo total de personal según la cantidad de agentes por tipo de contrato. Los resultados indican que existe una mejor combinación de agentes tipo 1 y tipo 2 que satisfacen la demanda con un costo menor al estado inicial (iteración 1).

La iteración 6 es la que menor costo arroja y la combinación de agentes corresponde a tener 77 agentes tipo 1 y 38 agentes tipo 2, para obtener un costo de \$ 54,007,500 a la semana. Siendo \$1,280,000 más económica que la solución encontrada con la disponibilidad inicial de agentes (iteración 1). Sin embargo entre la iteración 6 y 7 a pesar de arrojar la misma solución, es más costosa la iteración 6 respecto a la 7 en cuanto a la planta de personal disponible (\$ 1,600,000 de diferencia). De esta manera se podría llegar a sugerir nuevas estructuras de personal a la empresa que permitan disminuir sus costos sin afectar los niveles de servicio.

Por otra parte, un resultado que llama la atención corresponde a la iteración 3 de tener toda la planta con agentes tipo 2, arrojando una solución infactible. La explicación a este resultado se debe a que con 150 agentes trabajando a medio tiempo no es suficiente para cumplir con los requerimientos de demanda.

Por último a partir de la iteración 9 la solución es infactible, esto es debido a que con una combinación de 60 agentes tipo 1 y 70 agentes tipo 2 no se pueden cubrir los requerimientos de la demanda por tal motivo el modelo no encuentra una solución factible.

Los resultados anteriores permiten replantear nuevas políticas para la empresa, no sólo para el servicio de asignación de citas, sino para el resto de servicios de ingreso de llamadas, donde la disponibilidad de la planta es un factor importante en la estructura de costos y es una decisión estratégica para la compañía

5.2 Escenario 2 - Disponibilidad de horas

En el segundo escenario, se modifica la cantidad de horas disponibles a la semana por agente. Actualmente se cuenta con 41 horas semanales por agente tipo 1 y se ampliará a 48 horas, cantidad máxima legal que se puede trabajar a la semana sin incurrir en pagos extras.

Para la ejecución de este escenario, se hace necesario modificar el parámetro Cap_{sem_a} de la tabla de datos de *Ampl*, ingresando a los 100 agentes tipo 1 disponibles las 48 horas, mientras que a los otros 30 agentes tipo 2 se les conservará su disponibilidad semanal de 24 horas a la semana.

Al ejecutar el modelo se obtienen los siguientes resultados:

Costo Min por semana	Cantidad Agentes T1	Cantidad Agentes T2
\$ 55,287,500	85	30

Tabla 13 Resultados escenario 2

Fuente: El autor

En la tabla 14 se evidencia que a pesar de incrementar la capacidad semanal de los agentes, el valor obtenido en la función de desempeño sigue siendo el mismo \$ 55,287,500, con la misma combinación de agentes T1 y T2.

Para el modelo desarrollado, incrementar la capacidad semanal de los agentes no es un aspecto relevante para la selección de la cantidad de agentes de acuerdo con el tipo de contratación. Los resultados confirman que la combinación de agentes tipo 1 y 2 encontrada iteración 1 (Ver Tabla 12 *Resultados de escenario 1*), sigue siendo la de menor costo total de personal.

Incrementar la capacidad de los recursos parece de primera mano una buena alternativa para la empresa, sin embargo los resultados muestran que es una decisión que podría resultar costosa debido a los cambios contractuales que se deben hacer con los agentes y en la retribución económica semanal, sin obtener un impacto que mejore el costo total de personal.

5.3 Escenario 3 - Programación mínima

En el tercer escenario, se modificará la cantidad de horas mínimas al día que se debe programar un agente en caso de activarse. Inicialmente la cantidad de horas mínimas al día son 4 y se modificará a 2 horas.

Con esta modificación se espera dar mayor flexibilidad al modelo en la programación del personal, permitiendo en los casos que se requiera, usar sólo 2 horas de la capacidad diaria del agente para cubrir los requerimientos de demanda.

En cuanto al tiempo de trabajo máximo por semana se conservará para cada tipo de agente (41 horas agente tipo 1 y 24 horas agente tipo 2).

La ejecución del cambio anterior se realizará en la restricción no. 3 *Horas mínimas a laborar por día por agente*, específicamente modificando el parámetro $Periodos_min_a$ ingresando el valor de 2 horas.

Restricción 3

$$\sum_{t \in TIME} X_{adt} \geq Periodos_min_a * \sum_{t \in TIME} XE_{adt} \quad \forall_a \in AGT, \forall_d DIA$$

Al ejecutar el modelo para este escenario se obtienen los siguientes resultados:

Costo Min por semana	Cantidad Agentes T1	Cantidad Agentes T2
\$ 55,287,500	85	30

Tabla 14 Resultados escenario 3

Fuente: El autor

Como se observa en la tabla 15, modificar el parámetro de horas mínimas por día por agente a 2 horas, no mejora los costos totales de personal y la combinación de agentes tipo 1 y tipo 2 se conservan, de acuerdo con los resultados iniciales.

Se revisa la utilización de la capacidad de los agentes con la nueva disposición:

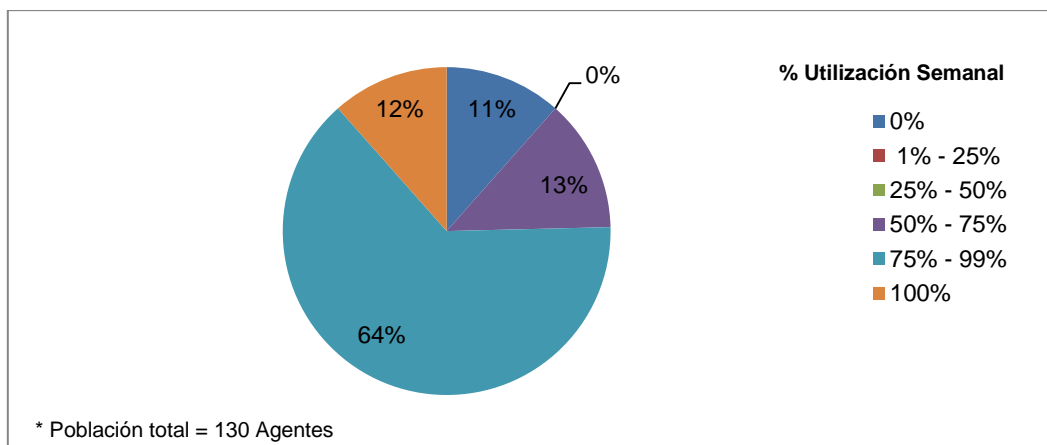


Gráfico 14 Resultado utilización de agentes - Escenario 3
Fuente: El autor

Los resultados del gráfico 15 muestran que el 12% de la población es utilizada al 100%, mientras que el 64% de la población se utiliza entre un 75% y 99%. Por último, un 13% de la población se utiliza entre el 50% y 75%, finalizando con un 11% con un uso del 0%, este último refiere a los agentes no incluidos en la programación.

Se hace necesario comparar los resultados del escenario 3 con los obtenidos en el modelo inicial (Ver *Gráfico 13 Propuesta - Porcentaje de utilización de agentes*). Se facilita el análisis comparativo con el gráfico 16:

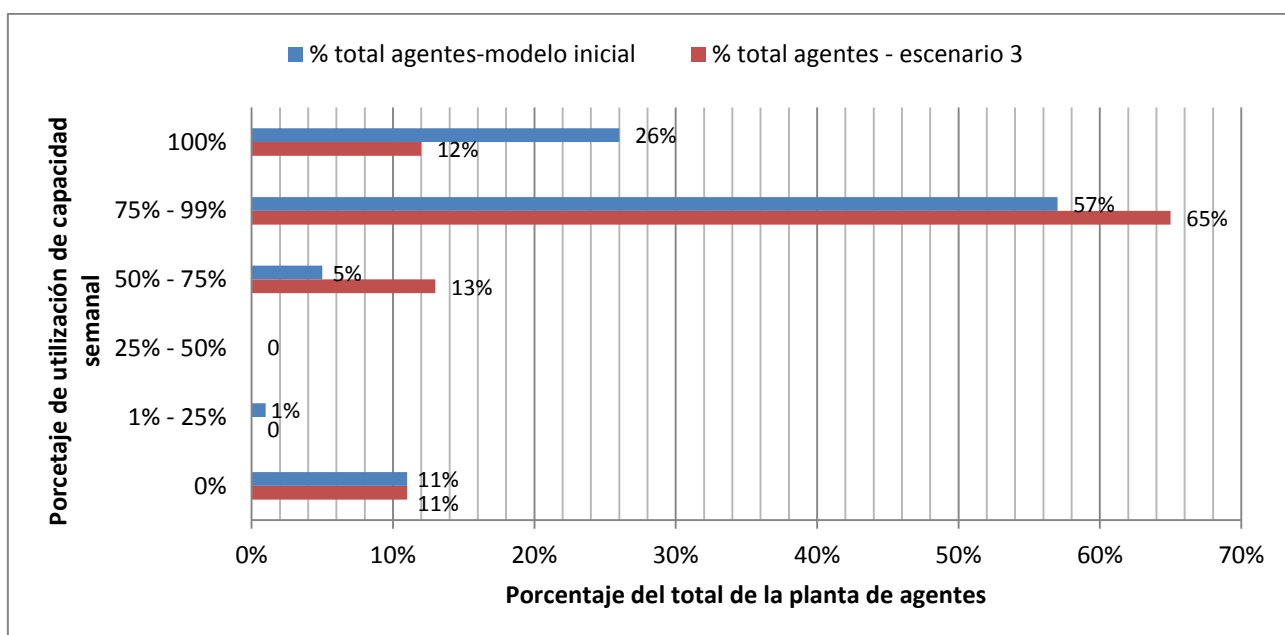


Gráfico 15 Utilización de agentes modelo inicial vs escenario 3
Fuente: El autor

El gráfico 16 muestra que para el modelo inicial el 26% de los agentes fueron utilizados al 100%, mientras que con el escenario 3 sólo el 12% de la planta de agentes trabaja al 100% de su capacidad para atender los requerimientos del sistema.

Estos resultados indican que la modificación de la restricción 3 de horas mínimas a trabajar por día, hacen el modelo es mucho más eficiente porque con menos agentes trabajando al 100%, se atiende la misma demanda, a pesar de que los costos de totales personal permanezcan constantes.

La modificación de estas políticas podría impactar otros procesos de la empresa como el de reclutamiento, selección y contratación de personal. Como se indicó en la caracterización, los agentes cuentan con un perfil de estudiantes activos de diferente programas profesionales, técnicos y tecnologías, lo que haría atractiva la oferta laboral para ellos poder tan sólo trabajar 2 horas algunos días donde la carga académica sea mayor. Lo que convierte las ofertas más atractivas e incrementan la efectividad en la búsqueda de candidatos.

5.4 Escenario 4 - Eliminación de descansos

En el cuarto escenario, se ejecutará el modelo sin la restricción 11. Esta restricción indica al modelo que se asignen los periodos sobrantes necesarios al total de agentes que se programen para asegurar los descansos de 15 minutos exigidos por políticas del Call Center.

Con esta modificación se pretende validar la variación en la combinación de agentes tipo1 y 2 y su respectivo costo total, sin tener en cuenta la programación de los descansos, así como validar si los periodos sobrantes al correr el modelo son suficientes y no se requiere forzar el modelo con la inclusión de la restricción 13 para asignar periodos adicionales.

Al ejecutar el modelo los resultados obtenidos son:

Costo Min por semana	Cantidad Agentes T1	Cantidad Agentes T2
\$ 55,287,500	85	30

Tabla 15 Resultados escenario 4
Fuente: El autor

Día	Descanso teórico	Descanso programado	Diferencia
Lunes	44	86	42
Martes	45	114	69
Miércoles	53	189	136
Jueves	46	106	60
Viernes	44	87	43

Tabla 16 Detalle de descansos asignados sin restricción 11
Fuente: El autor

Resultados anteriores indican que sin la restricción 11, que obliga a asignar 1 hora adicional cada 4 agentes programados, el modelo sigue siendo factible y sobran los suficientes periodos para programar los auxiliary. Sin embargo tomar esta medida puede ser riesgoso, debido a que desde el modelo no se estarían asignando los descansos requeridos y podrían encontrarse soluciones en las que no hay suficientes periodos sobrantes para asignar descansos, lo que nos llevaría a una saturación de los agentes, afectando su motivación al no tener tiempo para descansar.

5.5 Escenario 5 - Limitación jornada de almuerzo

Con el quinto escenario, se pretende disminuir la cantidad de agentes programados en la jornada del almuerzo, entre 12:00 p.m. - 1:00 p.m.

Primero se toma la mayor demanda de agentes de toda la semana entre las 12:00 p.m. y 1:00 p.m., el cual corresponde a 46 agentes. Este valor será el máximo de agentes permitidos a usarse cada día a la hora del almuerzo.

Período										
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	55	93	91	93	83	38	34	66	70	51
2	40	85	80	83	64	33	36	57	61	46
3	40	115	97	92	70	42	39	67	77	63
4	53	81	90	89	67	46	30	67	73	60
5	45	75	89	80	72	31	37	57	49	60

Tabla 17 Demanda de agentes por día y período
Fuente: El autor

Para lo anterior se incluyen dos nuevas restricciones que indican al modelo programar a lo sumo 46 agentes esa franja, así:

$$\sum_{a \in AGT} X_{adt} \leq 46 \quad \forall d \in DIA, \forall t = 6 \in TIME$$

$$\sum_{a \in AGT} X_{adt} \leq 46 \quad \forall d \in DIA, \forall t = 7 \in TIME$$

Las restricciones obligan a que la sumatoria de agentes programados en toda la semana en el periodo 6 y 7 sea menor o igual a 46 horas. Con esto se espera que el modelo ajuste el personal, de tal forma que el sobredimensionamiento obtenido con el modelo inicial disminuya.

Al ejecutar el modelo el resultado es infactible. Esto se presenta debido a que no es posible encontrar una solución que cumpla con los requerimientos dados y no programe más de 46 agentes entre las 12:00 p.m. y 1:00 p.m.

Se propone como alternativa al escenario, modificar la cantidad de agentes a 90 agentes como máximo en la jornada de almuerzo e ir disminuyendo este valor en varias iteraciones hasta que el problema empiece a ser infactible.

El valor de 90 agentes para iniciar las iteraciones se extrae del máximo número de agentes programados entre 12:00 p.m. y 1:00 p.m. con la ejecución del modelo inicial.

Iteración	Parámetro cantidad de agentes al medio día	Resultado cantidad agentes T1	Resultado cantidad agentes T2	Costos Totales
1	90	85	30	\$ 55,287,500
2	89	85	30	\$ 55,287,500
3	77	85	30	\$ 55,287,500
4	76	N/A	N/A	Infactible
5	49	N/A	N/A	Infactible

Tabla 18 Resultados costos escenario 5
Fuente: El autor

La tabla de resultados 19, presenta los costos totales para cada modificación de la cantidad máxima de agentes en la franja del medio día. Obteniendo la misma combinación inicial de agentes tipo 1 y agentes tipo 2, obteniendo el mismo costo total de personal, lo que nos indica que el modelo no mejora en cuanto a costo con las nuevas restricciones.

Para la iteración 3 que fue la última antes que el modelo fuera infactible, se restringe el problema a programar a lo sumo 77 agentes. Los resultados que se obtienen continúan siendo los mismos en cuanto a costo y combinación de agentes y la programación obtenida por día de la semana para las 12:00 p.m. y 1:00 p.m. se muestra a continuación:

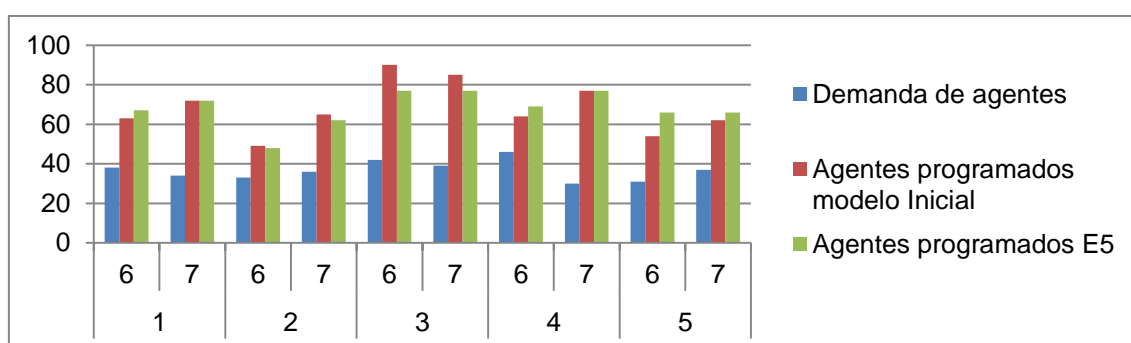


Gráfico 16 Resultados programación escenario 5
Fuente: El autor

Los resultados del gráfico 17 muestran que con la implementación del escenario 5, la disminución de agentes pretendida sólo se logra los días martes

y miércoles. Mientras tanto para los días lunes, martes y viernes, la mejor solución corresponde al programa inicial puesto que el escenario incrementa el número de agentes en la franja horaria objeto de análisis.

La implementación de restricciones que disminuyan la cantidad de agentes en la jornada disponible para el almuerzo, no se considera como una buena estrategia que permita alcanzar el objetivo planteado en el escenario desarrollado y deberá tratarse con otro método de solución.

5.6 Escenario 6 - Incremento de utilización

El sexto escenario busca incrementar la utilización de los agentes por encima del 80%. Con esta modificación se espera que el modelo arroje una menor combinación de agentes tipo 1 y 2, que cumplan con el total de requerimientos y se disminuyan los costos inicialmente obtenidos.

Para la ejecución de este escenario se hace necesaria la creación de las siguientes restricciones, para asegurar la utilización mínima del 80% de la capacidad semanal por agente tipo 1 y tipo 2, respectivamente.

La inserción de las restricciones se realiza directamente en el archivo del modelo de *Ampl*. A continuación se presenta la formulación matemática de las restricciones:

$$\sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIME} X_{adt} \geq 33 * Y_a \quad \forall a \in AGT \{1 - 100\}$$

$$\sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIME} X_{adt} \geq 19 * Y_a \quad \forall a \in AGT \{101 - 130\}$$

Las restricciones aseguran que la suma de las horas programadas de toda la semana, debe ser mayor a 33 horas (para el caso de los agentes tipo 1) y de igual forma debe ser mayor a 19 (para los agentes tipo 2). Para ambos casos el parámetro de horas mínimas a ejecutar es multiplicado por la variable Y_a la cual indica sí se activa o no el agente a . En caso de no activarse el agente a , el

valor de la variable Y_a es cero, lo que implicaría no exigir el tiempo mínimo de utilización a ese agente particular.

Estas nuevas restricciones se complementan con las declaradas inicialmente en el modelo que tienen como función indicar el periodo de arranque y la jornada de trabajo sí el agente fue activado mediante la variable Y_a .

Restricción 9

$$\sum_{t \in TIME} XE_{adt} \leq Y_a \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

Restricción 10

$$X_{adt} \leq Y_a \quad \forall a \in AGT, \forall d \in DIA, \forall t \in TIME$$

El gráfico 18 muestra la distribución de la planta de agentes y porcentaje de utilización con la implementación del escenario 6:

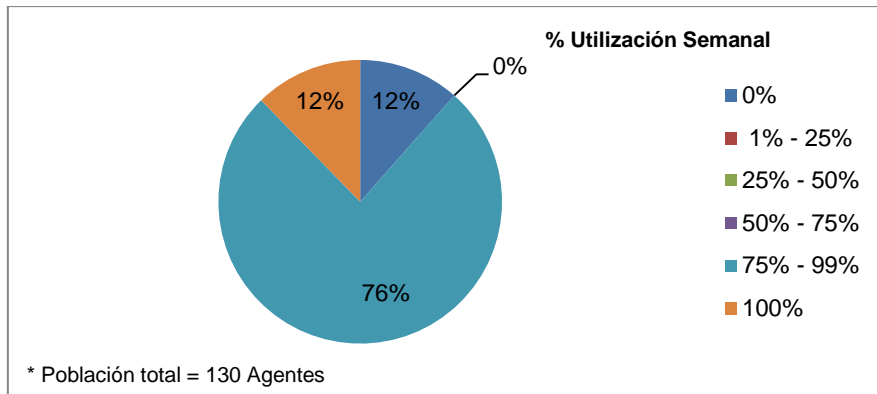


Gráfico 17 Porcentaje utilización de agentes escenario 6

Fuente: El autor

Indicando que con la implementación del escenario 6 hubo un incremento en la población de agentes utilizados entre un 75% y 100%, se pasó de utilizar un 83% de la población (ver en el gráfico 13 la sumatoria de porcentaje de la

población para los rangos del 75% y 100% de uso de capacidad) a utilizar un 88% en el rango dado. Indicando que la implementación de la restricción si cumplió con el objetivo planteado.

Costo Min por semana	Cantidad Agentes T1	Cantidad Agentes T2
\$ 55,287,500	85	30

Tabla 19 Resultados escenario 6
Fuente: El autor

Los resultados obtenidos no varían respecto a la solución inicial del problema al adicionar las restricciones que incrementan la utilización de cada tipo de agente. El costo y la combinación de agentes permanecen constantes (Ver tabla 20), lo que indica que exigir al modelo incrementar el uso de la capacidad semanal de los agentes no mejora el objetivo principal de reducir los costos totales de personal.

La implementación del escenario 6 al no mejorar los costos, vuelve los horarios más rígidos, ocasionando que los agentes tengan que estar más tiempo en el trabajo sin necesidad y perdiendo la posibilidad de ajustar compromisos académicos en estos espacios y nuevamente convirtiendo la oferta laboral poco atractiva por los candidatos.

6 CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la caracterización del objeto de estudio, que dio cumplimiento del primer objetivo específico. Se concluye que es muy importante detallar el sistema antes del planteamiento de metodologías que solucionen los problemas. Aspectos como las políticas contractuales, las internas de la compañía y los requerimientos de los clientes que se debían satisfacer delimitan las técnicas a utilizar.

Sobre la caracterización del sistema objeto de estudio también se debe validar la disponibilidad de la información del sistema y las dificultades de extraer la información. En caso de no contar con la información requerida se debe ejecutar un plan de acción para implementar procesos que permitan medir el sistema que se encuentre bajo estudio.

Otro punto importante en la caracterización fue validar las causas de los picos altos y bajos de demanda con los expertos involucrados en el sistema. De lo cual se concluye que es importante hacer estas validaciones para incluir o desestimar con criterio los datos y lo más importante es poder identificar la existencia de otro tipo de variables externas poco fáciles de detectar pero con impacto el comportamiento de los datos.

La demanda de llamadas identificada en la caracterización del sistema, fue un parámetro determinante en la estimación y programación de agentes. Razón por la cual se concluye que es importante establecer metodologías sistemáticas que faciliten pronosticar la demanda y que consideren aspectos propios de su comportamiento como la tendencia y estacionalidad. Sin la definición de una metodología adecuada para lo anterior, no existirá un adecuado dimensionamiento del recurso y con seguridad se incurrirán en costos extras por desperdicios de la capacidad del personal e instalaciones locativas.

Para el desarrollo de la metodología de pronósticos se concluye que la validación, ajuste y aplicación de los métodos utilizados de manera tradicional por empresas del sector industrial pueden ser adaptados en el sector de servicios, donde el componente principal de la estructura de costos de las

empresas dedicadas al suministro de servicios son los costos de personal, infraestructura locativa y tecnológica. Implicando que los conceptos comunes como inventarios fueran adaptados al contexto y transformándose en exceso de horas del recurso humano disponibles en un periodo específico.

Específicamente para la estimación demanda de llamadas del Call Center, la cual presentó comportamientos estacionales, se propuso el uso del método de Winters y sus resultados indicaron ser mucho más preciso que el promedio móvil utilizado por el Call Center (Ver Tabla 4 *Indicadores de precisión de las metodologías aplicadas*). Concluyendo que es una herramienta de adecuada para este tipo de sistemas.

Se concluye que la implementación del método de Winters es muy sensible ante cambios repentinos de la demanda, por lo que es importante tener en cuenta la experiencia del programador para la estimación y tratamiento de incrementos o decrementos considerables de la demanda.

Posterior a la estimación de la demanda, fase 2, de acuerdo con el esquema metodológico del gráfico 2, se desarrolló una metodología para programación del recurso (en la fase 3), la cual implicó tener el detalle del sistema en estudio para incluir los aspectos determinantes que afectarían la programación. Se ejecutaron las etapas detalladas en el Gráfico 3 *Flujo para programación de agentes-Fase* para desarrollar el modelo matemático para programar agentes por semana. De lo cual se concluye que la utilización de la programación lineal entera es una herramienta que presenta muy buen desempeño para problemas de programación de recurso.

Se concluye que no solo es necesario cumplir con los objetivos propuestos para el modelo, sino debía ser capaz de representar el sistema lo más cercano a la realidad

La metodología de programación tuvo en cuenta los aspectos más relevantes que pudieran afectar la programación, obteniendo buenos resultados en el tiempo de ejecución (fase 4). La programación manual que antes tenía una duración de 4 horas, pasó a ser de 10 minutos con el estudio desarrollado.

Tiempo bastante menor si se tiene en cuenta la necesidad de ahorro y aprovechamiento del recurso humano de las empresas contemporáneas.

Con la aplicación del modelo y cumpliendo con la fase 5, fue posible cumplir con el objetivo general planteado, logrando obtener un menor costo total de agentes, que indica un uso menor de la cantidad de agentes. El modelo no sólo programa la cantidad de agentes requeridos en cada periodo de tiempo, sino también indica el periodo de inicio y fin de cada agente en cada día de la semana, concluyendo que el modelo elaborado satisface la totalidad de requerimientos.

El costo semanal obtenido con la ejecución del modelo fue de \$ 55,2 MM, con el uso de 85 agentes tipo 1 y 30 agentes tipo 2, lo que indica que no se utilizaron 15 agentes tipo 1. Mientras tanto la programación actual utilizada por el Call Center, tiene un costo total semanal de \$ 63,1 MM y utiliza el total de agentes tipo 1 y tipo 2. Lo que indica una disminución de \$ 7,8 MM semanales en costos de personal. Concluyendo que con un método sistemático los resultados de la programación son mucho más precisos y cumplen con el objetivo de reducción de costos.

En cuanto a la utilización de la capacidad semanal de los agentes, el modelo propuesto es mucho más eficiente, utiliza en menor proporción la capacidad semanal del total de la planta de agentes (ver Gráfico 12 y 13). De lo cual se concluye que es posible obtener programaciones más flexibles y capaces de responder ante incrementos de la demanda.

Posterior a la obtención de los resultados anteriores, se modificó la disponibilidad de la cantidad de agentes tipo 1 y 2. Concluyendo que es posible encontrar una combinación de agentes que minimice el costo total de agentes. Utilizando 77 agentes tipo 1 y 38 agentes tipo 2, que al compararse con el primer resultado deja de utilizar 8 agentes T1 y se incrementa en 8 la cantidad de agentes tipo 2.

El costo semanal total con la nueva combinación de agentes es de \$ 54 MM, lo que indica que mejora el primer resultado en \$ 1.2 MM a la semana. Concluyendo que las técnicas de programación de personal son bastante útiles

para generar ahorros en las empresas de servicios y permiten validar de manera previa el impacto en costos al variar características del sistema.

Otras características del sistema fueron modificadas para la construcción de 6 escenarios, que al implementarlos se concluye que incrementar la capacidad de horas semanales disponibles por agente no reduce los costos de personal. Al contrario genera un mayor uso de la capacidad de los agentes sin obtener mejoras en los costos, pero impactando la motivación de los agentes quienes requieren trabajar específicamente lo necesario para cumplir con sus jornadas académicas.

Se concluye que al limitar la cantidad de agentes a la hora de almuerzo y eliminar los periodos de descanso, no tienen un impacto positivo en la disminución de los costos totales de personal a la semana.

Por otra parte modificar la programación de horas mínimas a programar por agente de 4 horas a 2 horas (escenario 3), hace más eficiente el modelo, debido a que con un menor porcentaje de uso de los agentes se cumplió con los requerimientos de demanda, aunque los costos permanecieron constantes. Concluyendo que este cambio permite incrementar la capacidad de respuesta del Call Center ante incrementos de la demanda.

Las metodologías para pronosticar y programar agentes han resuelto puntualmente el problema de programación planteado. Sin embargo se concluye que los resultados deben validarse bajo una visión sistémica que permita identificar el impacto de diferentes decisiones en los modelos en otros procesos. Por ejemplo la modificación de las horas mínimas a trabajar por día (escenario 3) a pesar de no mejorar los costos, podría volver atractiva la oferta laboral para futuros agentes impactando de manera positiva los procesos de selección de personal.

Por último, en el mercado existe una gran variedad de software para la realización de pronósticos y para la programación de agentes. Sin embargo sus altos costos de adquisición, implementación y entrenamiento del personal ponen en evidencia que los Call Centers medianos (500 agentes) aún no se inclinan por estas soluciones, por el contrario, siguen apostando al uso de

metodologías sobre herramientas sencillas. Indicando que hay un sector del mercado que requiere desarrollar proyectos de investigación que solucionen de manera particular, simple y económica sus problemas.

7 RECOMENDACIONES

Para próximos casos de estudio de demanda de llamadas para Call Center. Se recomienda la exploración de herramientas de simulación como dinámica de sistemas, para incluir variables que con los métodos tradicionales no se pueden tener en cuenta. Estas variables hacen mención a los periodos de vacaciones de los niños y estudiantes a mitad y final del año. Quienes aprovechan esta época para realizarse chequeos médicos generales.

Otras variables que podrían tenerse en cuenta son las temporadas de lluvia, que disparan la aparición de enfermedades comunes y por ende citas médicas. Así como demás comportamientos que podrían incrementar la demanda de llamadas para citas médicas.

Se recomienda hacer exploraciones de otros métodos para transformar la demanda de llamadas en demanda de agentes, la metodología actual no tiene en cuenta las llamadas abandonadas y de acuerdo con la revisión bibliográfica, estas metodologías podrían ser más precisas a pesar de ser poco utilizadas por la falta de medición del parámetro tasa de abandono en los Call Center.

Se recomienda la aplicación de modelos de programación que utilicen horizontes de tiempo más grandes, que permitan a las empresas tomar decisiones sobre el presupuesto de sus recursos anuales y luego hacer programaciones para horizontes de tiempo más cortos con información de demanda más actualizada. Todo esto permite a la empresa conocer de antemano su capacidad para establecer compromisos de nuevos negocios.

Por último, con los escenarios realizados, se hace necesario que la empresa haga una validación de sus políticas internas en cuanto al tiempo mínimo que debe programarse un agente y la cantidad de horas totales a trabajar en la semana. Se evidenciaron mejoras con la simulación de los escenarios impactando la utilización del recurso, haciendo el recurso más eficiente, sin incrementar los costos de personal.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. P. Tricarico, «CCSur,» [En línea]. Available: www.ccsur.com. [Último acceso: 10 1 2014].
- [2] Z. Aksin, M. Armony y V. Mehotra, «The modern call-center: A multi-disciplinary perspective on operations management research.,» *Production and Operations Management*, vol. 16, nº 6, p. 665–668, 2007.
- [3] D. Bertsimas y X. V. Doan, «Robust and data-driven approaches to call centers,» *European Journal of Operational Research*, vol. 207, nº 2, pp. 1072-1085, 2010.
- [4] R. M. Saltzman y V. Mehrotra, «Managing trade-offs in call center agent scheduling,» de *Methodology and case study in Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference*, San Diego, 2007.
- [5] A. N. Avramidis, A. Deslauriers y P. L'Ecuyer., «Modeling Daily Arrivals to a Telephone Call Center,» *Management Science*, vol. 50, nº 7, p. 896–908, 2004.
- [6] F. . P. Diago , «Los Call Center y su proyección en Colombia: Una aproximación,» vol. 8, nº 8, pp. 13-26, 2011.
- [7] Proexport Colombia, «Proexport Colombia,» 2012. [En línea]. Available: http://www.proexport.com.co/sites/default/files/periodico_de_las_oportunidades_-_ptp.pdf. [Último acceso: 2 Febrero 2014].
- [8] M. L. Berenson, *Estadística básica en administración, conceptos y aplicaciones*, 2 ed., New York: Pearson Education, 1996, pp. 857-860.
- [9] . J. E. Hanke y . D. W. Wichern, de *Pronósticos en los negocios*, vol. 8, Pearson Education, 2006, pp. 380 - 412.
- [10] L. H. Moreno y M. V. Tobon, *Manual de aplicación de teoría de colas*, Cali: Universidad del Valle, 1981.
- [11] J. Rojas, *Procesos estocásticos y teoría de colas (Sistemas estocásticos de servicios)*, 1970.
- [12] R. Saltzman y V. Mehrotra, «A manager-friendly platform for simulation modeling and analysis of call center queuing systems,» de *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, San Francisco, 2004.
- [13] Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle, «“Modelos Mentales”, notas de clase para el curso de dinámica de sistemas y pensamiento sistémico,» Cali, 2012.
- [14] E. Suryani, S.-Y. Chou y C.-H. Chen, «Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework,» de *Expert systems with*

applications, 2010.

- [15] S. Arango, R. Smith, I. Dyneer y S. Osorio, «System dynamic model to analyze investmets in power generation in Colombia,» de *20th Systems Dynamics Conference*, Palermo, 2002.
- [16] H. Niu y A. A. Gillard, «Using a system dynamic simulation model to forecast long-term urban water demand,» de *International System Dinamics Conference*, Stirling, 1994.
- [17] J. Weinberg, L. . D. Brown y J. . R. Stroud, «Bayesian forecasting of an inhomogeneous poisson process with applications to call center data,» *Journal of the American Statistical Association*, vol. 102, p. 1185–1199, 2007.
- [18] H. Shen y J. Z. Huang, «Interday forecasting and intraday updating of call center arrivals,» *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 10, nº 3, pp. 391-410 , 2008.
- [19] N. Gans, S. Haipeng y Y.-p. Zhou, « Parametric Stochastic Programming Models for Call-Center Workforce Scheduling,» *Genesys Telecommunications Laboratories*, 2012.
- [20] R. Ibrahim y P. L'Ecuyer, «Forecasting Call Center Arrivals: Fixed-Effects, Mixed-Effects, and Bivariate Models,» *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 15, nº 1, pp. 72-85, 2013.
- [21] C. J. Vidal Holguín , «Selección del sistema de pronósticos y simulación de pronósticos,» de *Fundamentos de control y gestión de inventarios*, Cali, Universidad del Valle Programa Editorial, 2011, pp. 83-85.
- [22] J. Machuca, *Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios*, Madrid: McGraw–Hill, 1994.
- [23] R. B. Chase, N. J. Aquilano y R. F. Jacobs, *Administración de producción y operaciones*, 8 ed., Mc Graw Hill, 2000, pp. 260-288.
- [24] R. Orrego Posada, «La calidad del servicio, la gestión de flujos y la teoria de colas,» *Revista Universidad EAFIT*, nº 94, pp. 23-29, 1994.
- [25] L. Brown, N. Gans, A. Mandelbaum, A. Sakov, H. Shen, S. Zeltyn y L. Zhao, «Statistical analysis of a telephone call center: A queueing science perspective,» *Journal of the American Statistical Association*, vol. 100, nº 469, pp. 36-50, 2005.
- [26] H. Delgado, «Recordando a Erlang: Un breve paseo (sin esperas) por la Teoría de Colas,» Departamento de matemáticas de la Universidad Autónoma de Barcelona, 2009. [En línea]. Available: http://ddd.uab.cat/pub/matmat/matmat_a2009/matmat_a2009a5.pdf. [Último acceso: 15 1 2014].
- [27] S. Casado y J. Pacheco, «Estudio comparativo de diferentes estrategias metaheurísticas para la resolución del labor sheduling problem,» *Estudios de economía aplicada*, vol. 21,

nº 3, 2003.

- [28] E. L. Lawyer, J. K. Lenstra, A. H. Rinnooy y D. B. Shmoys, «Sequencing and Scheduling: Algorithms and Complexity,» de *Logistics of production and inventory*, vol. 4, North-holland, 1993, pp. 445-522.
- [29] M. Pinedo y X. Chao, *Operations Scheduling*, New York: McGraw–Hill, 1999.
- [30] G. Thompson y M. Pullman, *Scheduling workforce relief breaks in advance versus in real-time*, European Journal of Operational Research, 2006.
- [31] D. Roubos y S. Bhulai, «Approximate dynamic programming techniques for skill-based routing in call centers,» *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, vol. 26, nº 4, pp. 581-591, 2012.
- [32] N. A. Athanassios , . C. Wyeat, M. Gendreau, . P. L'Ecuyer y O. Pisacane, «Optimizing daily agent scheduling in a multiskill call center,» *European Journal of Operational Research*, vol. 200, nº 3, pp. 822-832, 2010.
- [33] A. T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy y D. Sier, «Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models,» *European Journal of Operational Research*, vol. 153, nº 1, pp. 3-27, 2004.
- [34] A. Ingolfsson, F. Campello, X. Wu y E. Cabral, «Combining integer programming and the randomization method to schedule employees,» *European Journal of Operational Research*, vol. 202, nº 1, pp. 153-163, 2010.
- [35] L. V. Green, P. J. Colesar y . J. Soares, «An improved heuristic for staffing telephone call centers with limited operating hours,» *Production and Operations Management*, vol. 12, nº 1, p. 46–61, 2003.
- [36] Y. Ma y . L. Liu, «Solving Call Center Agent Scheduling Problem through Improved Adaptive Genetic Algorithm,» de *Computational Intelligence and Design (ISCID), 2012 Fifth International Symposium*, 2012.
- [37] P. Brucker, *Scheduling Algorithms*, Osnabrück: Springer, 2006.
- [38] F. Vicentini y S. Puddu, *Algoritmos heurísticos y el problema de Job Scheduling Problem*, Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, 2003.
- [39] S. Bastías y M. Chacón, «Modelamiento de asignación de enfermeras utilizando Redes Neuronales y Branch and Bound,» de *Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomedica*, La Habana, 2001.
- [40] J. Stuart, R. Norvig y P. Norvig, «Hill-climbing search,» de *Artificial intelligence a modern approach*, New Jersey, Prentice hall, 1995, pp. 111-113.

- [41] B. Melián Batista, «Introducción a la Búsqueda Tabú,» *Monográficos de Rect@*, vol. 3, pp. 29-71, 2007.
- [42] M. Gendreau y J.-Y. Potvin, «Tabu search,» de *Handbook of metaheuristics*, New York, Springer, 2012, pp. 41-56.
- [43] L. Pradenas Rojas, S. Hidalgo Tapia y M. Jensen Castillo, «Asignación de supervisores forestales. Resolución mediante un algoritmo Tabú Search.,» *Revista chilena de ingeniería*, vol. 16, nº 3, pp. 404-414, 2008.
- [44] *Código sustantivo del trabajo en Colombia*.
- [45] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison Wesley, 1989.
- [46] N. Gans, G. Koole y A. Madelbaum, «Telephone call centers: Tutorial, review and research prospects.,» *Manufacturing and service operations management*, vol. 5, nº 2, pp. 79-141.
- [47] N. Channouf y P. L'Ecuyer, «A normal copula model for the arrival process in a call center,» *International Transactions in Operational Research*, vol. 19, nº 6, pp. 771-787, 2012.
- [48] J. M. Milner y T. L. Olsen, «Service-level agreements in call centers: Perils and prescriptions.,» *Management Science*, vol. 54, nº 2, pp. 238-252, 2008.
- [49] . G. M. Thompson, «Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem.,» *Management Science*, vol. 41, nº 4, pp. 595-607, 1995.
- [50] D. R. Kohan, «Cadenas de Markov. Métodos Estadísticos en Ciencias de la Vida,» de *B0144. Universidad Nacional de Entre Ríos. Facultad de Ingeniería*, Oro Verde, 2013.
- [51] L. Pradena Rojas, S. Hidalgo Tapia y M. Jensen Castillo, «Asignación de supervisores forestales: Resolución mediante un algoritmo Tabu Search,» *Revista chilena de Ingeniería*, vol. 16, nº 3, pp. 404-414, 2008.
- [52] O. Garnett, A. Mandelbaum y M. Reiman, «Designing a Call Center with impatient customers,» *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 4, nº 3, pp. 208-225, 2002.
- [53] G. M. Thompson, «Labor staffing and scheduling models for controlling service levels,» *Naval Research Logistics*, vol. 8, pp. 719-740, 1997.

9 ANEXOS

Los anexos del documento son presentados en el formato digital.